

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh šoupátka s vloženými sedly

Valve Design With Insert Saddles

Student:

Bc. Tomáš Jašek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2012

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Jašek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje  
Téma: **Návrh šoupátka s vloženými sedly**  
**Valve Design with Insert Saddles**

### Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte konstrukční návrh šoupátka s vloženými sedly. Požadované provozní podmínky: maximální teplota 400°C, maximální tlak 100 barů. Technické parametry: šoupátko z materiálu 1.0619, ovládání ručním kolem. Odolnost na média: vodu, vodní páru a plyny. Dále vypracujte konstrukční návrh na rozdělení třmenového víka šoupátka na víko a třmen. Zpracujte kontrolní výpočty šoupátka. Zpracujte návrh opatření pro efektivnější výrobu šoupátek. Výkresová dokumentace by měla být v rozsahu 2x A0 (popř. jejich ekvivalent). Diplomová práce by měla být v rozsahu min. 40 stran textu. Bližší specifikace provozních podmínek a parametrů určí zadavatel – fa Arako spol. s r.o.

### Seznam doporučené odborné literatury:

BROŽ, L. *Hutnictví železa*. Praha: SNTL, Praha 1988. 460 str.  
BROŽ, L. *Výroba surového železa*. Ostrava: VŠB, Ostrava 1964. 173 str.  
BOLEK, A. a kol. *Části strojů*. Praha: SNTL Praha, 1990.  
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36s.  
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1996. 32s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011  
Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 21. 5. 2012 .....

..... *Tomáš Jaisel* .....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 21. 5. 2012

.....  


Bc. Tomáš Jašek

Květinová 847/32

Bolatice

747 23

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

JASEK, T. *Návrh šoupátka s vloženými sedly: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování – 340, 2012, 54 s. Vedoucí práce: Fries, J.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem šoupátka s vloženými sedly dle technických a provozních parametrů. V úvodu je proveden technický popis šoupátka. Následně je zpracováno konstrukční řešení tělesa s vloženými sedly a rozdělení třmenového víka na třmen a víko. Dále je proveden návrhový výpočet šoupátka a návrh opatření pro efektivnější výrobu šoupátek. V příloze diplomové práce je doložen sestavný výkres šoupátka a také výrobní a odlitkové výkresy tělesa, třmene a víka.

## **ANNOTATION OF THESIS**

JASEK, T. *Valve Design With Insert Saddles: Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design – 340, 2012, 54 p. Thesis head: Fries, J.

The thesis deals with a design of a gate valve with insert saddles according to technical and service parameters. There is a technical description of gate valve in an introduction. After that, a design solution of a valve body with insert saddles and a division of a completed bonnet into a bonnet and a cover are made. Then the design calculation of the gate valve is made. An assembly drawing of gate valve, working drawings and casting drawings of the body, the bonnet and the cover is attached in annex of the thesis.

# Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů	
1 Úvod .....	1
2 Technický popis šoupátka .....	4
3 Konstrukční řešení .....	7
3.1 Těleso s vloženými sedly .....	7
3.2 Rozdělení třmenového víka .....	8
4 Výpočet šoupátka .....	11
4.1 Základní údaje .....	11
4.2 Návrh tloušťky stěny tělesa a víka armatury .....	15
4.2.1 Návrh válcové části tělesa v místech I a II .....	16
4.2.2 Návrh polokulového dna tělesa v místě III .....	17
4.2.3 Návrh válcové části tělesa v místě IV .....	19
4.2.4 Návrh sférické části víka v místě V .....	21
4.3 Výpočet třmene .....	22
4.4 Návrh přírubového spoje č. 1 .....	25
4.4.1 Návrh svorníkového šroubu .....	27
4.4.2 Návrh základních rozměrů příruby tělesa.. .....	29
4.4.3 Tuhost přírubového spoje .....	36
4.4.4 Utahovací moment svorníkových šroubů .....	43
4.4.5 Těsnost přírubového spoje .....	44
4.4.6 Výpočet délky závitu svorníkového šroubu .....	46
5 Návrh opatření pro efektivnější výrobu šoupátek .....	49
6 Závěr .....	51
7 Seznam použité literatury .....	53
8 Seznam příloh .....	54

## Seznam použitých značek a symbolů

$A_s$	Střižná plocha díku šroubu	$[\text{mm}^2]$
$A_{SGM}$	Střižná plocha závitu matice	$[\text{mm}^2]$
$A_{SGŠ}$	Střižná plocha závitu šroubu	$[\text{mm}^2]$
$C_B$	Tuhost víka	$[\text{Nmm}^{-1}]$
$C_D$	Tuhost těsnění	$[\text{Nmm}^{-1}]$
$C_F$	Tuhost příruby	$[\text{Nmm}^{-1}]$
$C_S$	Tuhost šroubu	$[\text{Nmm}^{-1}]$
$C_{1,2,3}$	Výpočtové koeficienty	$[-]$
$D$	Vnitřní průměr tělesa	$[\text{mm}]$
$D_e$	Vnější průměr těsnění	$[\text{mm}]$
$D_f$	Vnější průměr příruby tělesa	$[\text{mm}]$
$D_i$	Vnitřní průměr těsnění	$[\text{mm}]$
$D_m$	Střední průměr těsnění	$[\text{mm}]$
$DN$	Jmenovitá světlost	$[\text{mm}]$
$D_1$	Malý průměr závitu matice	$[\text{mm}]$
$E$	Modul pružnosti v tahu	$[\text{MPa}]$
$E_B$	Modul pružnosti v tahu materiálu víka	$[\text{MPa}]$
$E_D$	Modul pružnosti v tahu materiálu těsnění	$[\text{MPa}]$
$E_F$	Modul pružnosti v tahu materiálu příruby	$[\text{MPa}]$
$E_S$	Modul pružnosti v tahu materiálu šroubu	$[\text{MPa}]$
$E_0$	Součinitel pro výpočet $E_D$	$[\text{MPa}]$
$F_D$	Nezbytná síla k usazení těsnění	$[\text{N}]$
$F_{DBO}$	Maximální provozní těsnící síla	$[\text{N}]$
$F_{DBU}$	Minimální provozní těsnící síla	$[\text{N}]$
$F_{DVO}$	Maximální těsnící síla potřebná pro usazení těsnění	$[\text{N}]$
$F_{DVU}$	Minimální těsnící síla potřebná pro usazení těsnění	$[\text{N}]$
$F_F$	Síla od tlaku média působící na mezikruží	$[\text{N}]$
$F_H$	Horizontální síla víka	$[\text{N}]$
$F_{\max}$	Celková maximální síla ve svorníkových šroubech	$[\text{N}]$
$F_{mz}$	Výsledná síla od hmotnosti potrubí a mechanických zatížení doplněná o účinek maximálního výpočtového zemětřesení	$[\text{N}]$

$F_o$	Celková utahovací síla ve svorníkových šroubech	[N]
$F_p$	Celková osová síla ve všech svorníkových šroubech od tlaku média při provozním stavu	[N]
$F_{ph}$	Celková osová síla ve všech svorníkových šroubech od tlaku média při zkušebním stavu	[N]
$F_{pz}$	Výsledná síla od hmotnosti potrubí a mechanických zatížení doplněná o účinek projektového zemětřesení	[N]
$F_R$	Celková síla od potrubí pro provozní podmínky	[N]
$F_r$	Rozkmit výsledné síly vlivem teplotní kompenzace potrubí	[N]
$F_{RM}$	Doplňková síla vyvolaná od potrubí z momentu zatěžujícího potrubí	[N]
$F_{RP}$	Síla vyvolaná od potrubí zatížená vnitřním tlakem	[N]
$F_{RZ}$	Doplňková podélná síla od potrubí	[N]
$F_S$	Maximální síla ve svorníkových šroubech ze všech zátěžových stavů	[N]
$F_{SB}$	Síla ve svorníkových šroubech pro provozní stav	[N]
$F_{SO}$	Minimální síla ve svorníkových šroubech	[N]
$F_V$	Vertikální síla víka	[N]
$F_{vp}$	Výsledná síla od hmotnosti potrubí a mechanických zatížení	[N]
$F_z$	Přídavná osová síla potřebná k přenosu boční síla a kroutícího momentu	[N]
$F_1$	Síla působící od vnitřního tlaku pro provozní podmínky	[N]
$F_{1h}$	Síla působící od vnitřního tlaku pro zkušební podmínky	[N]
$F_2$	Minimální těsnící síla pro provozní podmínky	[N]
$F_{2h}$	Minimální těsnící síla pro zkušební podmínky	[N]
$F_3$	Síla od tlaku média působící na mezikruží pro provozní podmínky	[N]
$F_{3h}$	Síla od tlaku média působící na mezikruží pro zkušební podmínky	[N]
$I_1$	Moment setrvačnosti v ohybu v řezu 1-1	[mm <sup>4</sup> ]
$I_2$	Moment setrvačnosti v ohybu v řezu 2-2	[mm <sup>4</sup> ]
$I_3$	Moment setrvačnosti v ohybu v řezu 3-3	[mm <sup>4</sup> ]
$K$	Součinitel	[-]
$K_1$	Součinitel určující rychlost změny $E_D$ s tlakovým napětím	[MPa]
$M$	Maximální moment působící na přírubu tělesa	[Nmm]
$M_d$	Moment nezbytný k usazení těsnění od síly $F_D$	[Nmm]
$M_h$	Moment od sil působících pro zkušební podmínky	[Nmm]
$M_{mz}$	Výsledný moment od hmotnosti potrubí a mechanických zatížení	



	doplněná o účinek maximálního výpočtového zemětřesení	[Nm]
$M_p$	Moment od sil působících pro provozní podmínky	[Nmm]
$M_{pz}$	Výsledný moment od hmotnosti potrubí a mechanických zatížení doplněný o účinek projektového zemětřesení	[Nm]
$M_r$	Rozkmit výsledného momentu vlivem teplotní kompenzace potrubí	[Nm]
$M_v$	Výsledný moment od hmotnosti potrubí a mechanických zatížení	[Nm]
$M_1$	Moment namáhající řez 1-1	[Nm]
$M_2$	Moment namáhající řez 2-2	[Nm]
$M_3$	Moment namáhající řez 3-3	[Nm]
$P$	Stoupání závitu	[mm]
$P_N$	Jmenovitý tlak	[bar]
$P_S$	Pracovní tlak	[bar]
$R$	Vnitřní poloměr válcové části víka	[mm]
$R_m$	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_m^T$	Mez pevnosti v tahu při teplotě $T$	[MPa]
$R_{mM}^T$	Mez pevnosti materiálu matice při provozní teplotě	[MPa]
$R_{mS}^T$	Mez pevnosti materiálu šroubu při provozní teplotě	[MPa]
$R_{p0,2}$	Mez kluzu v tahu	[MPa]
$R_{p0,2}^T$	Mez kluzu v tahu při teplotě $T$	[MPa]
$R_s$	Pevnostní součinitel	[-]
$S_D$	Součinitel bezpečnosti	[-]
$S_1$	Zatěžující plocha řezu 1-1	[mm <sup>2</sup> ]
$S_2$	Zatěžující plocha řezu 2-2	[mm <sup>2</sup> ]
$S_3$	Zatěžující plocha řezu 3-3	[mm <sup>2</sup> ]
$T$	Teplota	[°C]
$T_S$	Pracovní teplota	[°C]
$W_1$	Modul průřezu v ohybu v řezu 1-1	[mm <sup>3</sup> ]
$W_2$	Modul průřezu v ohybu v řezu 2-2	[mm <sup>3</sup> ]
$W_3$	Modul průřezu v ohybu v řezu 3-3	[mm <sup>3</sup> ]
$a_D$	Vzdálenost od osy šroubů ke střednímu průměru těsnění	[mm]
$a_F$	Vzdálenost od osy šroubů k působišti síly $F_{F1}$	[mm]
$a_R$	Vzdálenost od osy šroubů k působišti síly $F_{R1}$	[mm]
$b$	Vnější průměr horní válcové části třmene	[mm]

$b_D$	Šířka těsnění	[mm]
$c$	Konstrukční přídavek	[mm]
$c_1$	Přídavek na výrobní tolerance	[mm]
$c_2$	Přídavek na korozi	[mm]
$d$	Průměr závitu šroubu	[mm]
$d_D$	Střední výpočtový průměr těsnění	[mm]
$d_F$	Vnější průměr příruby víka	[mm]
$d_i$	Vnitřní průměr příruby tělesa	[mm]
$d_i'$	Vnitřní průměr víka	[mm]
$d_{iL}$	Průměr středové díry svorníkového šroubu	[mm]
$d_L$	Průměr díry svorníkového šroubu	[mm]
$d_L'$	Výpočtový průměr díry svorníkového šroubu	[mm]
$d_S$	Průměr dříku svorníkového šroubu	[mm]
$d_{SN}$	Navržený průměr svorníkového šroubu	[mm]
$d_2$	Střední průměr závitu svorníkového šroubu	[mm]
$d_3$	Malý průměr závitu svorníkového šroubu	[mm]
$e_{1,2,3}$	Ramena síl $F_{1,2,3}$	[mm]
$f$	Dovolené namáhání	[MPa]
$f_a$	Dovolené namáhání při zkušební teplotě	[MPa]
$f_D$	Dovolené namáhání pro provozní podmínky	[MPa]
$f_d^{400^{\circ}C}$	Dovolené namáhání při konstrukční teplotě	[MPa]
$f_F$	Dovolené napětí na přírubě při provozní teplotě	[MPa]
$f_{K1,2,3}$	Kontroly napětí přírubového kroužku	[MPa]
$f_{max}$	Maximální napětí na přírubě při provozní teplotě	[MPa]
$f_t$	Dovolené namáhání ve smyku	[MPa]
$f_{test}$	Dovolené namáhání pro zkušební podmínky	[MPa]
$f_{tM}$	Dovolené namáhání ve smyku pro matici	[MPa]
$f_{tS}$	Dovolené namáhání ve smyku pro svorníkový šroub	[MPa]
$f_S$	Dovolené napětí svorníkového šroubu	[MPa]
$f_1$	Napětí v řezu 1-1 při provozní teplotě	[MPa]
$f_2$	Napětí v řezu 2-2 při provozní teplotě	[MPa]
$f_3$	Napětí v řezu 3-3 při provozní teplotě	[MPa]
$h$	Vzdálenost od základny ramen po závit třmene	[mm]

$h_A$	Výška kuželovitého přechodu příruby s krkem	[mm]
$h_D$	Výška těsnění	[mm]
$h_F$	Výška listu příruby s krkem	[mm]
$h_f$	Vypočtená tloušťka listu příruby tělesa	[mm]
$h_{fN}$	Navržená tloušťka listu příruby tělesa	[mm]
$h_2$	Výška kuželové části příruby tělesa	[mm]
$l$	Vzdálenost ramen třmene	[mm]
$l_k$	Svěrná délka šroubu	[mm]
$l_m$	Efektivní délka závitu matice	[mm]
$l_n$	Skutečná délka závitu	[mm]
$l_s$	Délka dříku svorníkového šroubu	[mm]
$l_\xi$	Efektivní délka závitu šroubu	[mm]
$l_{1,2}$	Minimální činná délka závitu a matice	[mm]
$m$	Součinitel těsnění	[-]
$m_{1,2,3}$	Parametry	[-]
$n$	Počet šroubů	[-]
$p$	Tlak	[MPa]
$p_d$	Konstrukční tlak	[MPa]
$p_h$	Zkušební tlak	[MPa]
$p_s$	Nejvyšší dovolený tlak v nádobě	[MPa]
$p_{t1,2}$	Zkušební tlak	[MPa]
$q$	Měrný tlak	[MPa]
$q_0$	Měrný tlak na těsnění potřebný pro usazení těsnění	[MPa]
$r$	Přechodný rádius	[mm]
$s$	Výpočtová tloušťka stěny doplněná o přídavky	[mm]
$s_F$	Tloušťka přechodu hrdla příruby	[mm]
$s_{P1}$	Jmenovitá tloušťka stěny válcového úseku příruby	[mm]
$s_{P2}$	Jmenovitá tloušťka stěny v základně kuželového přechodu	[mm]
$s_R$	Tloušťka příruby	[mm]
$s_r$	Navržená tloušťka stěny	[mm]
$s_0$	Vypočtená tloušťka stěny	[mm]
$s_1$	Šířka ramene třmene v řezu 1-1	[mm]
$s_2$	Šířka ramene třmene v řezu 2-2	[mm]
$t$	Teplota média	[°C]

$t_1$	Tloušťka ramene třmene v řezu 1-1	[mm]
$t_2$	Tloušťka ramene třmene v řezu 2-2	[mm]
$v$	Výška horní válcové části třmene	[mm]
$x$	Součinitel zohledňující pevnost těsnění v provozních podmínkách	[-]
$y$	Souřadnice těžiště příčného průřezu příruby	[mm]
$\Delta V_1$	Hodnota těsnění udávaná výrobcem	[mm]
$\Delta W_1$	Rozdíl teplotních změn délek	[mm]
$\alpha$	Teplotní součinitel délkové roztažnosti	[ $10^{-6}K^{-1}$ ]
$\alpha_z$	Úhel profilu závitů	[°]
$\rho$	Hustota	[ $kgm^{-3}$ ]
$\sigma_{BO}$	Horní hranice měrného tlaku pro provozní stav	[MPa]
$\sigma_{BU}$	Dolní hranice měrného tlaku pro provozní stav	[MPa]
$\sigma_{VO}$	Horní hranice měrného tlaku potřebného pro usazení těsnění	[MPa]
$\sigma_{VU}$	Dolní hranice měrného tlaku potřebného pro usazení těsnění	[MPa]
$\varphi$	Svarový součinitel	[-]

# 1 Úvod

Šoupátka jsou potrubní armatury, ovládané ručním kolem (obr. 1.1) nebo elektrickým pohonem (obr. 1.2). Uzavíracím orgánem je klín, který uzavírá médium kolmo k ose průtoku. Šoupátka jsou uzavírací armatury, určené k plnému otevření nebo uzavření průtoku. Protékající médium může proudit oběma směry, nesmí však obsahovat abrazivní látky a nečistoty, které mohou zhoršit funkci armatury. Šoupátka se vyznačují malým ztrátovým součinitelem a jsou vhodná hlavně pro větší světlosti potrubí.



Obr. 1.1 Šoupátko s ručním kolem



Obr. 1.2 Šoupátko s elektrickým pohonem

Tato diplomová práce řeší konstrukční návrh šoupátka s vloženými sedly v rámci zadaného vývojového úkolu firmou Arako spol. s r.o.. Hlavním důvodem pro zadání tohoto vývojového úkolu bylo nemožné navaření stelitového svarového kovu na současná odlitková tělesa světlostí DN 250 a vyšší. Tento problém musela firma Arako řešit kooperací, což mělo za následek zdražování výroby a také její prodlužování.

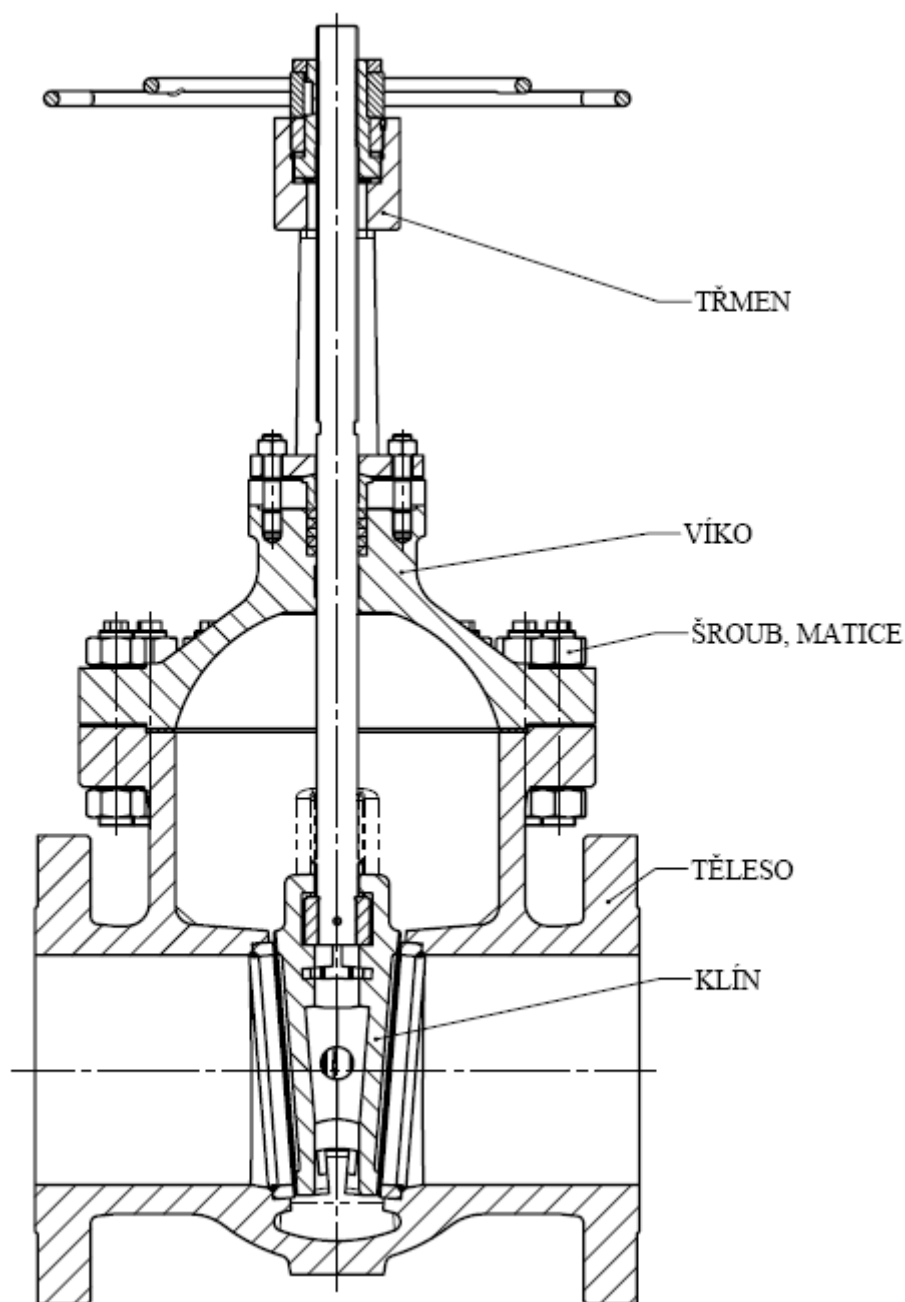
Dalším bodem vývojového úkolu bylo rozdělit odlitek třmenového víka na odlitek třmene a víka pro snadnější opracování těchto součástí při výrobě.

### **Cíle diplomové práce:**

- Vypracování konstrukčního návrhu šoupátka s vloženými sedly dle zadaných podmínek.
- Vypracování konstrukčního návrhu na rozdělení třmenového víka šoupátka na víko a třmen.
- Zpracování základních návrhových a kontrolních výpočtů šoupátka.
- Zpracování návrhu opatření pro efektivnější výrobu šoupátek.

## 2 Technický popis šoupátka

Jedná se o třmenové šoupátko přírubové (obr. 2.1), s netočivým stoupajícím vřetenem, nestoupajícím ručním kolem a pružným klínem. Díky nestoupajícímu ručnímu kolu je zapotřebí jen malý obestavěný prostor. Dlouhá životnost těsnících ploch je zajištěna tvrdým návarovým kovem. Z důvodu snadnějšího ovládání je šoupátko vybaveno dvěma ložisky ve třmeni.



Obr. 2.1 Řez šoupátkem



Hlavní části šoupátka tvoří tlaková obálka – těleso, víko a spojovací materiál, které ovlivňují technickou bezpečnost armatury. Šoupátka jsou konstruována v různých tlakových řadách, kdy pro každý materiál šoupátka je napočítán tzv. tlako-teplotní systém (tab. 2.1), který udává pracovní parametry – dovolený pracovní tlak při maximální pracovní teplotě.

Tab. 2.1 Tlako-teplotní systém

Materiál	PN	Dovolенý pracovní tlak PS [bar] pro maximální pracovní teplotu TS [°C]								
		-10	50	100	150	200	250	300	350	400
1.0619	100	100	100	93	87	76	71	64	60	58

Těleso tvoří základní nosnou část šoupátka. S potrubím je spojeno pomocí přírub dle normy ČSN EN 1092-1 [1], tvar B1. Těleso je odlito z materiálu 1.0619 (GP240GH) a do něj jsou těsnícím svarem navařeny dva kroužky (sedla) z materiálu 1.0425 (P265GH). Na těchto kroužcích je již navařen svarový kov, po navaření do tělesa se kroužky ještě lapují. V tělese jsou odlity i dvě vodící lišty, které umožňují vedení klínu při jeho pohybu.

Uzavíracím orgánem šoupátka je pružný klín. Je to kruhový odlitek z materiálu 1.0619 a je složen ze dvou desek, které jsou spojeny dřikem tak, že se mohou navzájem proti sobě vychylovat a přizpůsobit se tak sklonu sedel tělesa. Těsnící plochy klínu a sedel tělesa mají sklon 5°. Klín je na bocích opatřen vodícími lištami a nahoře zámkem pro vložení hlavy vřetene, do níž se našroubuje vřeteno. To je spolu s hlavou vřetene svrtáno a pojištěno kolíkem proti vypadnutí.

Víko slouží k uzavření tělesa šoupátka. K tělesu je připojeno přírubovým spojem pomocí svorníkových šroubů z materiálu 1.7218 (25CrMo4) a matic z materiálu 1.1181 (C35E+QT). Je odlito z materiálu 1.0619. Má za úkol vyvedení a utěsnění vřetene a zachycení jeho sil a momentů. Vřeteno je utěsněno pomocí grafitového ucpávkového těsnění, které je vloženo v ucpávkové komoře ve víku.

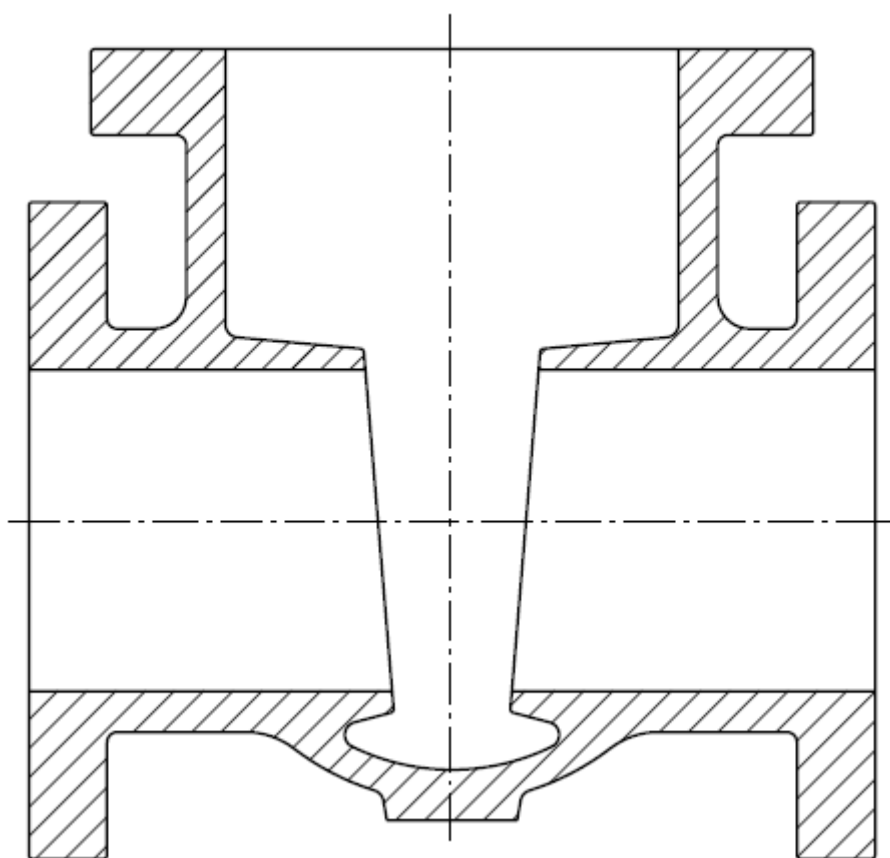
Třmen je připojen k víku přírubovým spojem. Je to odlitek z materiálu 1.0619. V horní části třmene je uložena vřetenová matice, která je uložena mezi dvěma ložisky.

Vřetenová matice se nemůže posouvat, což způsobuje závitový kroužek zašroubovaný do třmene a pojištěný červíkem. Může se však otáčet, takže vřeteno stoupá. Ruční kolo nestoupá, protože je spojeno k vřetenové matici pomocí pera a shora zajištěno maticí proti vypadnutí. Vřeteno i vřetenová matice jsou opatřeny levým lichoběžníkovým závitem.

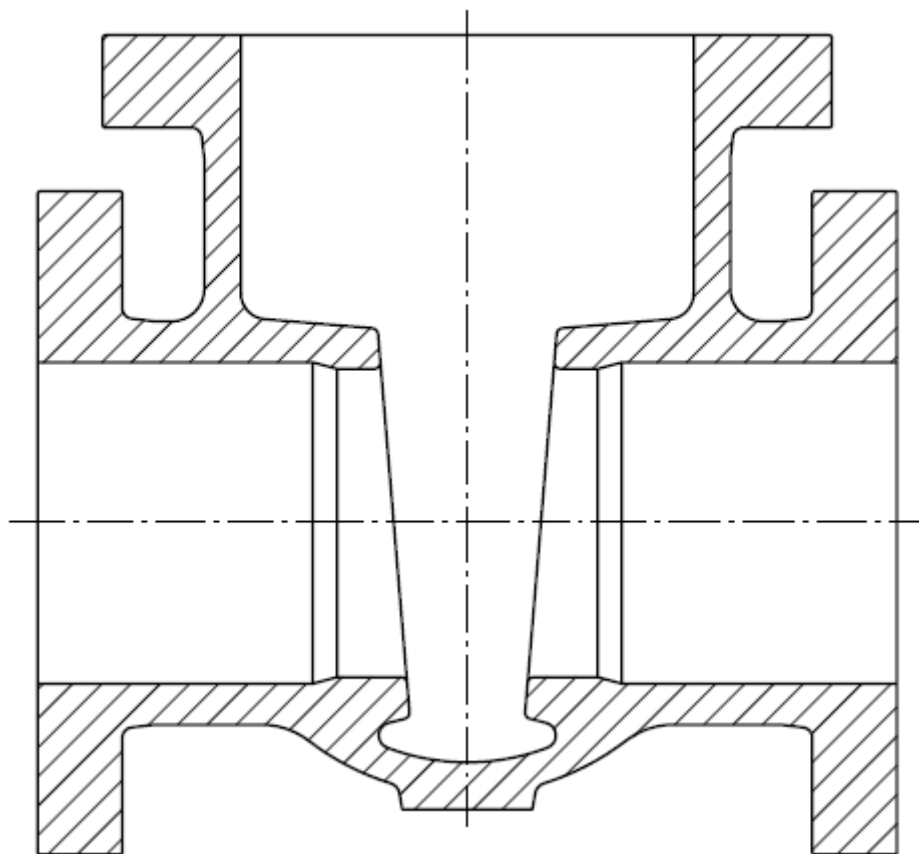
### 3 Konstrukční řešení

#### 3.1 Těleso s vloženými sedly

V rámci realizace šoupátka s vloženými sedly bylo zapotřebí provést změnu na odlitku tělesa. Tato změna zahrnovala pouze přidání materiálu v oblasti sedlové partie. Na obr. 3.1 je znázorněn odlitek tělesa ještě před úpravou, na obr. 3.2 je znázorněn již nově upravený odlitek tělesa.



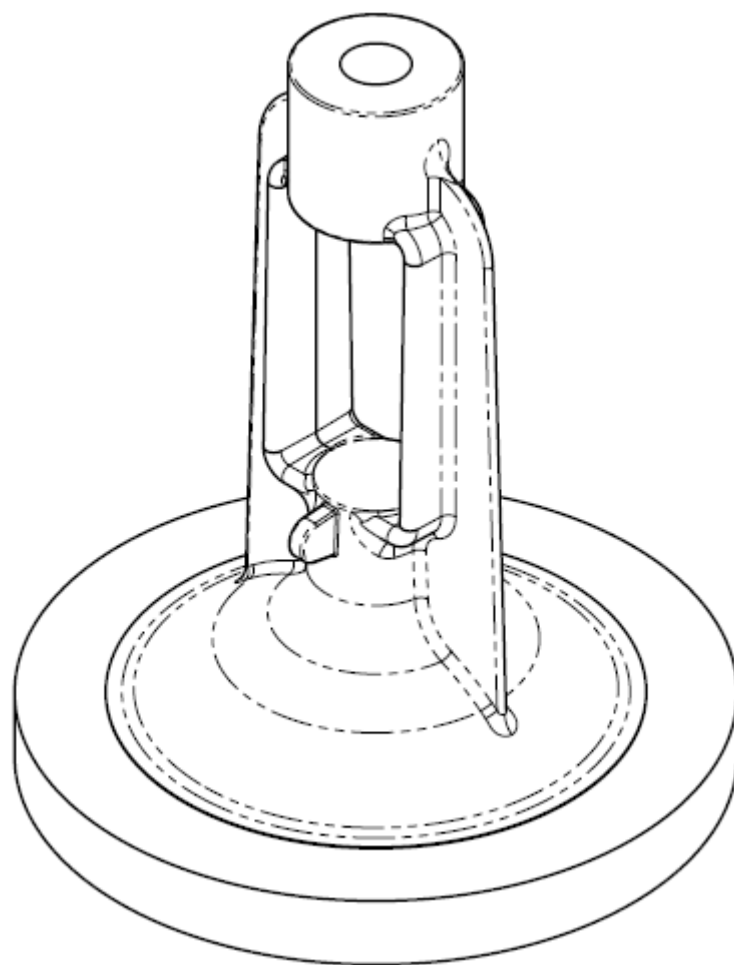
Obr. 3.1 Odlitek tělesa před úpravou



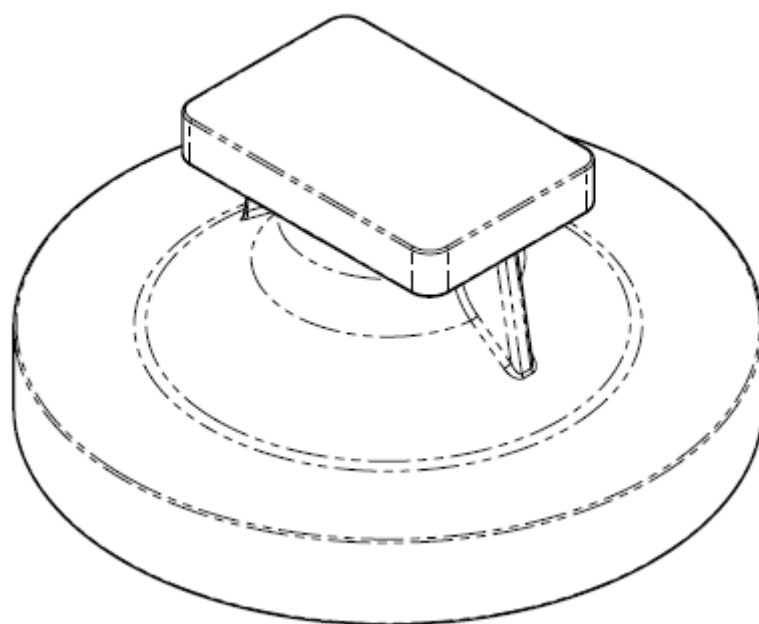
Obr. 3.2 Upravený odlitek tělesa

### 3.2 Rozdělení třmenového víka

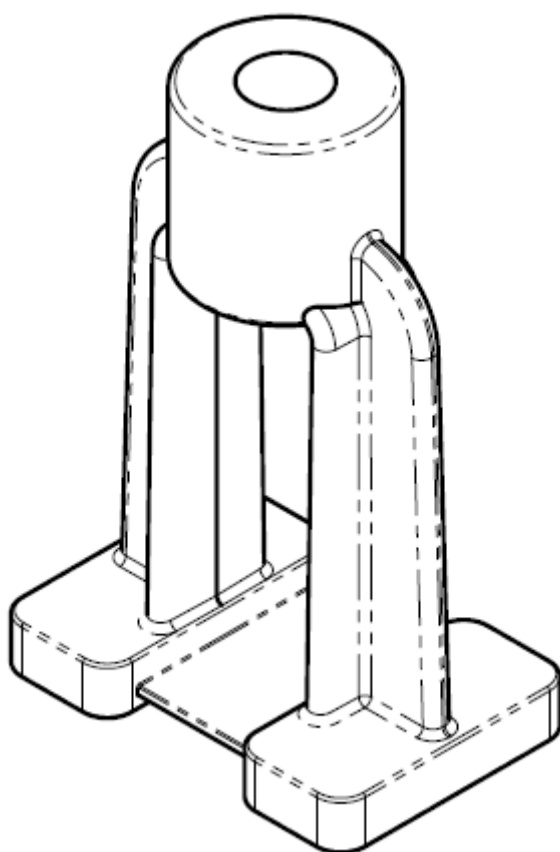
Při požadavku na rozdělení třmenového víka na víko a třmen byla snaha zachovat původní tvar a rozměry. Odlitek víka je na obou stranách opatřen žebry pro lepší stabilitu víka. Víko a třmen jsou spolu spojeny pomocí přírubového spoje se čtyřmi šrouby M27x90 dle DIN 931 z materiálu 1.7218 (25CrMo4) a čtyřmi maticemi M27 dle DIN 934 z materiálu 1.1181 (C35E+QT). Původní odlitek třmenového víka je na obr. 3.3, odlitek víka je na obr. 3.4 a odlitek třmene je na obr. 3.5.



Obr. 3.3 Odlitek třmenového víka



Obr. 3.4 Odlitek víka



Obr. 3.5 Odlitek třmene

## 4 Výpočet šoupátka

### 4.1 Základní údaje

Schéma armatury je na obr. 2.1. Fyzikální a mechanické charakteristiky materiálů komponent armatury jsou uvedeny v tab. 4.1. Hodnoty byly převzaty z TP 422-21-43/04 [2].

Tab. 4.1 Fyzikální a mechanické charakteristiky materiálů

		Teplota [°C]				
		20	100	200	300	400
1.0619 (GP240GH) těleso, klín, víko, třmen	E [GPa]	211	206	199	192	185
	$\alpha$ [ $10^{-6}\text{K}^{-1}$ ]	14	14	14	14	14
	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	7850				
	$R_m$ [MPa]	420				
	$R_{p0,2}$ [MPa]	240	209	175	147	123
1.7218 (25CrMo4) svorníkové a vidlicové šrouby	E [GPa]	208	207	204	197	188
	$\alpha$ [ $10^{-6}\text{K}^{-1}$ ]	12,3	12,3	12,9	12,9	13,9
	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	7850				
	$R_m$ [MPa]	600				
	$R_{p0,2}$ [MPa]	440	428	412	363	304
1.1181 (C35E+QT) matice	E [GPa]	206	197	187	168	156
	$\alpha$ [ $10^{-6}\text{K}^{-1}$ ]	11,1	11,1	12,1	12,9	13,5
	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	7850				
	$R_m$ [MPa]	500				
	$R_{p0,2}$ [MPa]	300	261	220	185	156
1.4021 (X20Cr13)	E [GPa]	215	212	205	198	190
	$\rho$ [ $\text{kgm}^{-3}$ ]	7850				
	$R_m$ [MPa]	500				
	$R_{p0,2}$ [MPa]	700	468	430	395	364

Tlako-teplotní systém je uveden v tab. 2.1. Označení zátěžových stavů šoupátka je uvedeno v tab. 4.2.

Tab. 4.2 Označení zátěžových stavů šoupátka

Číslo zátěžového stavu	Název zátěžového stavu	T [°C]	p [MPa]
0	montáž	20	-
1	provozní stav	100	9,3
2	tlaková zkouška	20	15

Velikosti silových a momentových účinků na boční příruby šoupátka jsou uvedeny v tab. 4.3. Byly převzaty z OTT-87 [3].

Tab. 4.3 Síly a momenty od potrubí

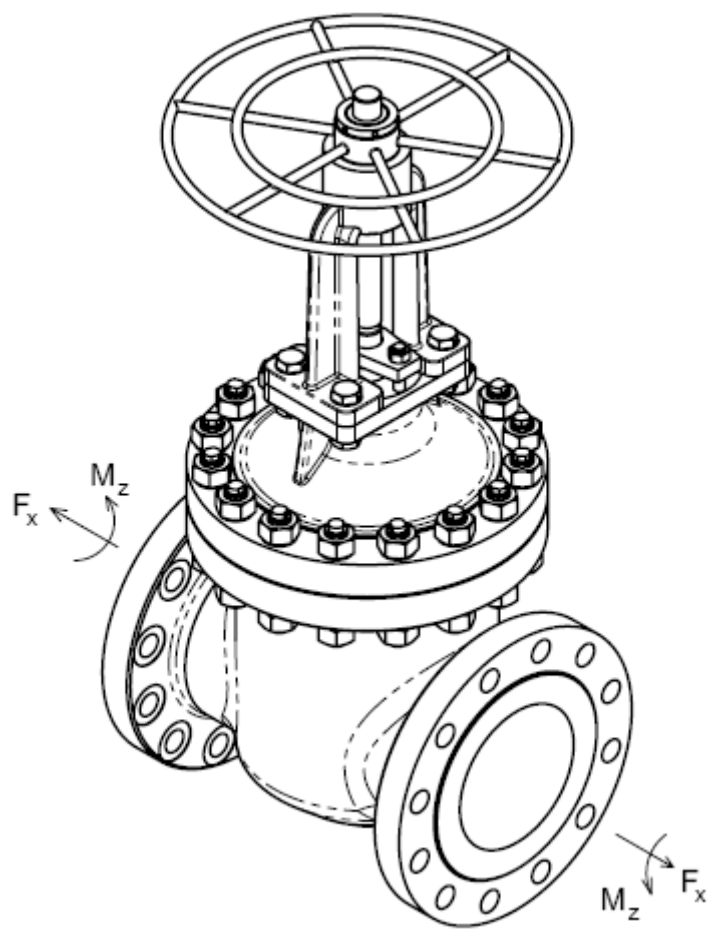
Materiál	Teplota	$F_{vp}$ [N]	$F_r$ [N]	$M_v$ [Nm]	$M_r$ [Nm]	$F_{mz}$ [N]	$M_{mz}$ [Nm]	$F_{pz}$ [N]	$M_{pz}$ [Nm]
1.0619	250°C	2511	5680	528	1197	3522	757	2698	671

Vnitřní tlak pracovní látky působící na šoupátko je uveden v tab. 4.4.

Tab. 4.4 Vnitřní tlak pracovní látky

Zátěžový stav	T [°C]	p [MPa]
Provozní stav	100	9,3
Tlaková zkouška	20	15





Obr. 4.1 Směr silových a momentových účinků od potrubí

Dovolená namáhání byla stanovena dle ČSN EN 13445-5 [4] a NTD A.S.I., Sekce III [5].

Dovolené namáhání materiálu tělesa pro provozní a zkušební podmínky:

$$f = \min \left\{ \frac{R_{p0,2}^T}{1,9}; \frac{R_m^T}{3} \right\} \quad (4.1)$$

$$f_{test} = \left( \frac{R_{p0,2}^T}{1,33} \right) \quad (4.2)$$

Dovolené namáhání materiálu svorníkových šroubů pro provozní podmínky:

$$f = \min \left\{ \frac{R_{p0,2}^T}{2} \right\} \quad (4.3)$$

$$f_{test} = \left( \frac{R_{p0,2}^T}{1,1} \right) \quad (4.4)$$

Dovolené namáhání ve smyku pro závity svorníkových šroubů a matic:

$$f_t = 0,32 \cdot R_{p0,2}^T \quad (4.5)$$

Tab. 4.5 Dovolená namáhání

Materiál	TS [°C]	$R_{p0,2}^T$ [MPa]	$R_m^T$ [MPa]	$f_D$ [MPa]	$f_{test}$ [MPa]	$f_t$ [MPa]
1.0619 těleso, třmen, víko	20	240	420	126	180	-
	60	228	-	120	-	-
	100	209	-	110	-	-
	400	123	-	65	-	-
1.7218 svorníkové, vidlicové šrouby	20	440	600	147	400	141
	60	435	-	145	-	139
	100	428	-	143	-	137
	400	304	-	101	-	97
1.1181 matice	20	300	500	-	-	96
	60	285	-	-	-	91
	100	261	-	-	-	84
	400	156	-	-	-	50

Tlakové díly je nutné navrhovat vzhledem k provoznímu i zkušebnímu tlaku. Armatura je zkoušena při teplotě 20°C. Výpočet byl proveden dle ČSN EN 13445-5 [4] a je v souladu s NTD A.S.I., Sekce III [5]. Navržený zkušební tlak musí být vyšší, než uvedené výpočtové vztahy.

Zkušební tlak:

$$p_{t1} = 1,25 \cdot p_d \cdot \frac{f_a}{f_d^{400^\circ C}} \quad (4.6)$$

$$p_{t2} = 1,43 \cdot p_s \quad (4.7)$$

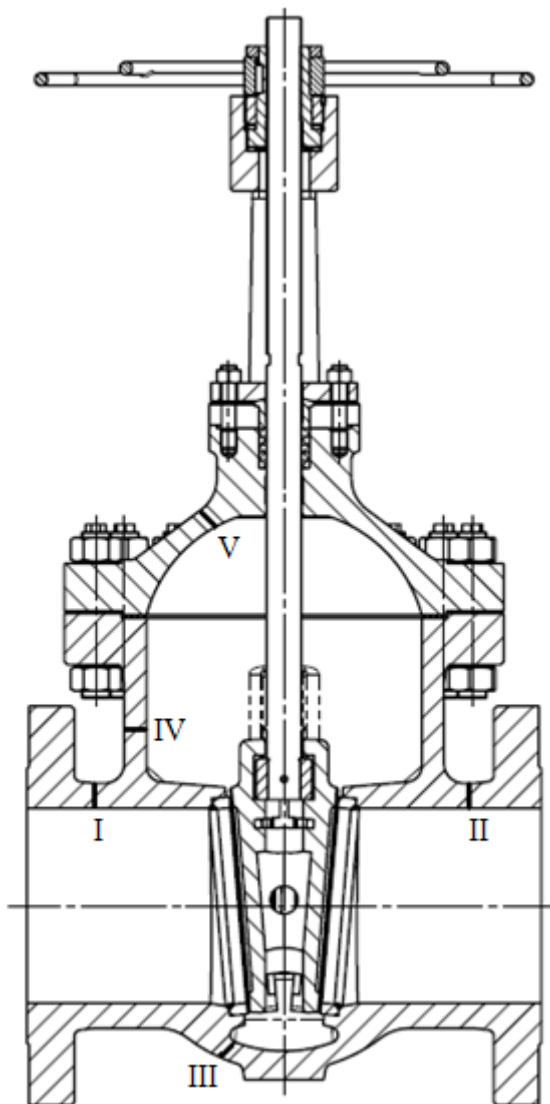
Tab. 4.6 Výpočet zkušebního tlaku při tlakové zkoušce

Materiál tělesa	$p_d$ [MPa]	$p_s$ [MPa]	$f_a$ [MPa]	$f_d^{400^\circ C}$ [MPa]	$p_{t1}$ [MPa]	$p_{t2}$ [MPa]
1.0619	0,92	1,6	126	65	2,23	2,29

Vypočtený zkušební tlak je 2,29 MPa, navržený zkušební tlak pro tlakovou zkoušku je 2,4 MPa (1,5 násobek  $p_s$ ).

## 4.2 Návrh tloušťky stěny tělesa a víka armatury

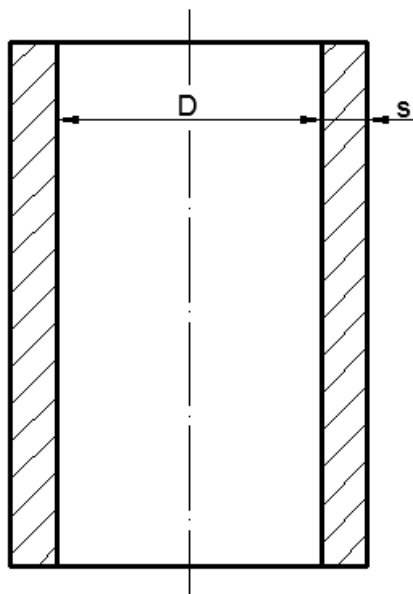
Výpočet byl proveden dle NTD A.S.I., Sekce III [5] a dle ČSN 69 0010 - 4.25 [6].



Obr. 4.2 Přehled navrhovaných řezů

#### 4.2.1 Návrh válcové části tělesa v místech I a II

Tloušťka stěny byla navržena pro provozní i zkušební stav.



Obr. 4.3 Označení válcové části tělesa v místech I a II

Výpočtová tloušťka stěny pro provozní stav:

$$s_R = \frac{p \cdot D \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot f - p} \cdot \frac{1}{m_2} \quad (4.8)$$

$$m_1 = 2, m_2 = 1, m_3 = 1$$

Výpočtová tloušťka stěny pro zkušební stav:

$$s_R = \frac{p_h \cdot D \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot f_{test} - p_h} \cdot \frac{1}{m_2} \quad (4.9)$$

Výpočtová tloušťka stěny doplněná o přídavky:

$$s = s_R + c_1 + c_2 \leq s_N \quad (4.10)$$

Podmínka platnosti:

$$\frac{s_N - (c_1 + c_2)}{D} \leq 0,3 \quad (4.11)$$

Tab. 4.7 Vstupní parametry v místech I a II

D [mm]	$\phi$ [-]	$m_1$ [-]	$m_2$ [-]	$m_3$ [-]
247	1	2	1	1

Tab. 4.8 Přidavky v místech I a II

c [mm]	$c_1$ [mm]	$c_2$ [mm]
2,1	2	0,1

Tab. 4.9 Návrh tloušťky stěny válcové části tělesa v místech I a II – provozní stav

TS [°C]	PS [MPa]	f [MPa]	$s_R$ [mm]	s [mm]	$s_N$ [mm]	podmínka
20	10	126	10,2	12,3	34,5	0,13
100	9,3	110	10,9	13		

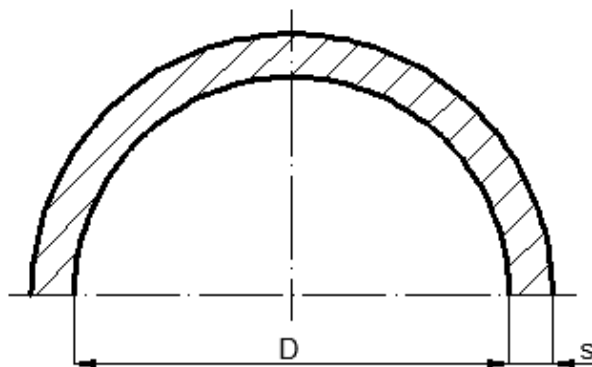
Tab. 4.10 Návrh tloušťky stěny válcové části tělesa v místech I a II – zkušební stav

TZ [°C]	$p_h$ [MPa]	$f_{test}$ [MPa]	$s_R$ [mm]	s [mm]	$s_N$ [mm]	podmínka
20	15	180	10,7	12,8	34,5	0,13

Minimální vypočtená tloušťka stěny válcové části tělesa v místě I a II je  $s = 13$  mm. Navržená tloušťka stěny válcové části tělesa je  $s_N = 34,5$  mm. Byla splněna podmínka platnosti. Tloušťka stěny válcové části tělesa v místě I a II vyhovuje.

#### 4.2.2 Návrh polokulového dna tělesa v místě III

Tloušťka stěny byla navržena pro provozní a zkušební stav.



Obr. 4.4 Označení polokulového dna tělesa v místě III

Výpočtová tloušťka stěny pro provozní stav:

$$s_R = \frac{p \cdot D \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot f - p} \cdot \frac{1}{m_2} \quad (4.12)$$

$$m_1 = 4, m_2 = 1, m_3 = 1$$

Výpočtová tloušťka stěny pro zkušební stav:

$$s_R = \frac{p_h \cdot D \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot f_{test} - p_h} \cdot \frac{1}{m_2} \quad (4.13)$$

Výpočtová tloušťka stěny doplněná o přídavky:

$$s = s_R + c_1 + c_2 \leq s_N \quad (4.14)$$

Podmínka platnosti:

$$0,0025 \leq \frac{s_N - (c_1 + c_2)}{D} \leq 0,1 \quad (4.15)$$

Tab. 4.11 Vstupní parametry v místě III

D [mm]	$\varphi$ [-]	$m_1$ [-]	$m_2$ [-]	$m_3$ [-]
348	1	4	1	1

Tab. 4.12 Přídavky v místě III

c [mm]	$c_1$ [mm]	$c_2$ [mm]
2,1	2	0,1

Tab. 4.13 Návrh tloušťky polokulového dna tělesa v místě III – provozní stav

TS [°C]	PS [MPa]	f [MPa]	$s_R$ [mm]	s [mm]	$s_N$ [mm]	podmínka
20	10	126	7	9,1	25	0,07
100	9,3	110	7,5	9,6		

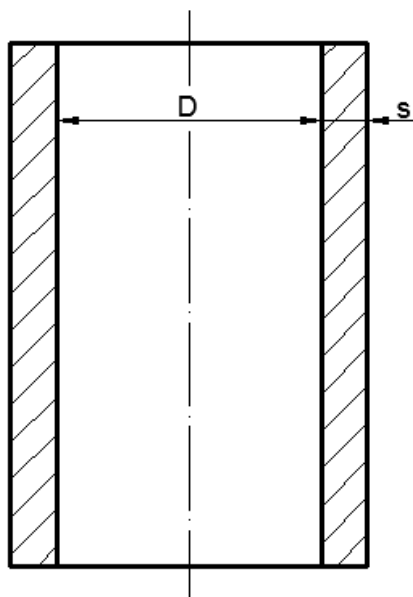
Tab. 4.14 Návrh tloušťky polokulového dna tělesa v místě III – zkušební stav

TZ [°C]	$p_h$ [MPa]	$f_{test}$ [MPa]	$s_R$ [mm]	s [mm]	$s_N$ [mm]	podmínka
20	15	180	7,4	9,5	25	0,07

Minimální vypočtená tloušťka polokulového dna tělesa v místě III je  $s = 9,6$  mm. Navržená tloušťka polokulového dna tělesa je  $s_N = 25$  mm. Byla splněna podmínka platnosti. Tloušťka polokulového dna tělesa v místě III vyhovuje.

#### 4.2.3 Návrh válcové části tělesa v místě IV

Tloušťka stěny byla navržena pro provozní a zkušební stav.



Obr. 4.5 Označení válcové části tělesa v místě IV

Výpočtová tloušťka stěny pro provozní stav:

$$s_R = \frac{p \cdot D \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot f - p} \cdot \frac{1}{m_2} \quad (4.16)$$

$$m_1 = 2, m_2 = 1, m_3 = 1$$

Výpočtová tloušťka stěny pro zkušební stav:

$$s_R = \frac{p_h \cdot D \cdot m_3}{m_1 \cdot \varphi \cdot f_{test} - p_h} \cdot \frac{1}{m_2} \quad (4.17)$$

Výpočtová tloušťka stěny doplněná o přídavky:

$$s = s_R + c_1 + c_2 \leq s_N \quad (4.18)$$

Podmínka platnosti:

$$\frac{s_N - (c_1 + c_2)}{D} \leq 0,3 \quad (4.19)$$

Tab. 4.15 Vstupní parametry v místě IV

D [mm]	$\varphi$ [-]	$m_1$ [-]	$m_2$ [-]	$m_3$ [-]
348	1	2	1	1

Tab. 4.16 Přídavky v místě IV

c [mm]	$c_1$ [mm]	$c_2$ [mm]
2,1	2	0,1

Tab. 4.17 Návrh tloušťky stěny válcové části tělesa v místě IV – provozní stav

TS [°C]	PS [MPa]	f [MPa]	$s_R$ [mm]	s [mm]	$s_N$ [mm]	podmínka
20	10	126	14,4	16,5	28	0,07
100	9,3	110	15,4	17,5		

Tab. 4.18 Návrh tloušťky stěny válcové části tělesa v místě IV – zkušební stav

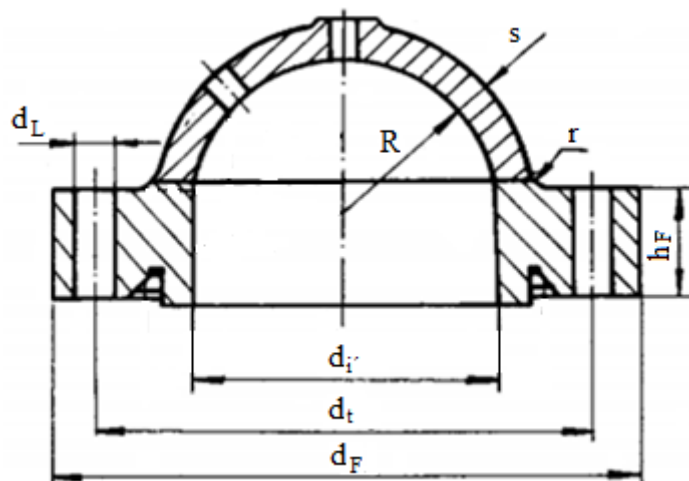
TZ [°C]	$p_h$ [MPa]	$f_{\text{test}}$ [MPa]	$s_R$ [mm]	s [mm]	$s_N$ [mm]	podmínka
20	15	180	15,1	17,2	28	0,07

Minimální vypočtená tloušťka stěny válcové části tělesa v místě IV je  $s = 17,5$  mm. Navržená tloušťka stěny válcové části tělesa je  $s_N = 28$  mm. Byla splněna podmínka platnosti. Tloušťka stěny válcové části tělesa v místě IV vyhovuje.



#### 4.2.4 Návrh sférické části víka v místě V

Tloušťka stěny byla navržena pro provozní a zkušební stav.



Obr. 4.6 Označení sférické části víka v místě V [6]

Výpočtová tloušťka stěny pro provozní stav:

$$s_R = \frac{1,25 \cdot p \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot f - 0,5 \cdot p} \quad (4.20)$$

Výpočtová tloušťka stěny pro zkušební stav:

$$s_R = \frac{1,25 \cdot p_h \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot f_{test} - 0,5 \cdot p_h} \quad (4.21)$$

Výpočtová tloušťka stěny doplněná o přídavky:

$$s = s_R + c_1 + c_2 \leq s_N \quad (4.22)$$

Tab. 4.19 Vstupní parametry v místě V

$\varphi$ [-]	R [mm]	r [mm]
1	180	15

Tab. 4.20 Přídavky v místě V

c [mm]	c <sub>1</sub> [mm]	c <sub>2</sub> [mm]
2,1	2	0,1

Tab. 4.21 Návrh tloušťky stěny sférické části víka v místě V – provozní stav

TS [°C]	PS [MPa]	f [MPa]	s <sub>R</sub> [mm]	s [mm]	s <sub>N</sub> [mm]
20	10	126	9,1	11,2	25
100	9,3	110	9,7	11,8	

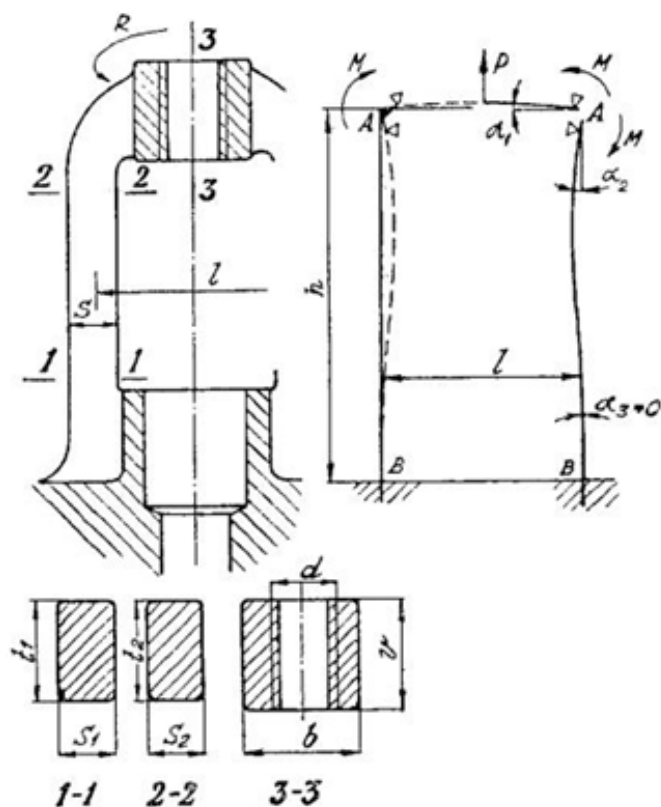
Tab. 4.22 Návrh tloušťky stěny sférické části víka v místě V – zkušební stav

TZ [°C]	p <sub>h</sub> [MPa]	f <sub>test</sub> [MPa]	s <sub>R</sub> [mm]	s [mm]	s <sub>N</sub> [mm]
20	15	180	9,6	11,7	25

Minimální vypočtená tloušťka stěny sférické části tělesa v místě V je  $s = 11,8$  mm. Navržená tloušťka stěny sférické části tělesa je  $s_N = 25$  mm. Tloušťka stěny sférické části tělesa v místě V vyhovuje.

### 4.3 Výpočet třmene

Pro velký počet neznámých geometrických parametrů nelze provést přímý návrhový výpočet třmene. Rozměry byly nejprve navrženy a následně byla provedena kontrola třmene. Výpočet byl proveden dle [7].



Obr. 4.7 Silové a momentové účinky působící na třmen [7]

Moment setrvačnosti v řezu 1-1 a 2-2:

$$I_1 = I_2 = \frac{t_2 \cdot s_2^3}{12} \quad (4.23)$$

Moment setrvačnosti v řezu 3-3:

$$I_3 = \frac{(b - d) \cdot v^3}{12} \quad (4.24)$$

Moment namáhající řez 1-1 a 2-2:

$$M = M_1 = M_2 = \frac{F_{o \max} \cdot l}{8} \cdot \frac{1}{1 + \frac{h \cdot I_3}{2 \cdot l \cdot I_2}} \quad (4.25)$$

Moment namáhající řez 3-3:

$$M_3 = \frac{F_{o \max} \cdot l}{4} - M \quad (4.26)$$

Napětí v řezu 1-1:

$$f_1 = \frac{M_1}{W_1} + \frac{F_{o \max}}{S_1} + \frac{M_o'}{W_o'} = \frac{M_1}{\frac{t_1 \cdot s_1^2}{6}} + \frac{F_{o \max}}{2 \cdot s_1 \cdot t_1} + \frac{\frac{2 \cdot M_k \cdot h}{l}}{\frac{s_1 \cdot t_1^2}{6}} \leq f_{tr} \quad (4.27)$$

Napětí v řezu 2-2:

$$f_2 = \frac{M_2}{W_2} + \frac{F_{o \max}}{S_2} = \frac{M_2}{\frac{t_2 \cdot s_2^2}{6}} + \frac{F_{o \max}}{2 \cdot s_2 \cdot t_2} \leq f_{tr} \quad (4.28)$$

Napětí v řezu 3-3:

$$f_3 = \frac{M_3}{W_3} = \frac{M_3}{\frac{(b-d) \cdot v^2}{6}} \leq f_{tr} \quad (4.29)$$

Tab. 4.23 Vstupní parametry třmene

t <sub>1</sub> [mm]	t <sub>2</sub> [mm]	s <sub>1</sub> [mm]	s <sub>2</sub> [mm]	b [mm]	d [mm]	v [mm]	l [mm]	h [mm]
90	90	38	38	135	100	120	180	295

Tab. 4.24 Vypočtené momenty setrvačnosti, moduly průřezu v ohybu a zatěžující plochy

l <sub>1</sub> [mm <sup>4</sup> ]	l <sub>2</sub> [mm <sup>4</sup> ]	l <sub>3</sub> [mm <sup>4</sup> ]	W <sub>1</sub> [mm <sup>3</sup> ]	W <sub>2</sub> [mm <sup>3</sup> ]	W <sub>3</sub> [mm <sup>3</sup> ]	W <sub>1'</sub> [mm <sup>3</sup> ]	S <sub>1</sub> [mm <sup>2</sup> ]	S <sub>2</sub> [mm <sup>2</sup> ]
411540	411540	5040000	21660	21660	84000	51300	6840	6840

Tab. 4.25 Výpočet ohybových momentů

TS [°C]	PS [MPa]	F <sub>o max</sub> [N]	M <sub>1</sub> [Nmm]	M <sub>2</sub> [Nmm]	M <sub>3</sub> [Nmm]	M <sub>o'</sub> [Nmm]	M <sub>k</sub> [Nmm]
20	10	108054	220309	220309	4642121	4648331	1418135
100	9,3	101407	206757	206757	4356558	4362385	1330897

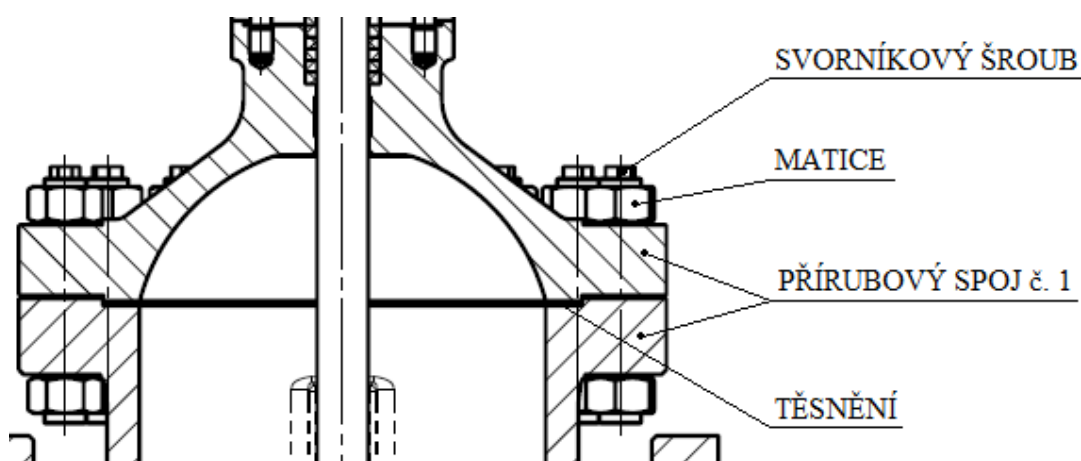
Tab. 4.26 Normálová napětí na třmení v kritických řezech

TS [°C]	PS [MPa]	$f_1$ [MPa]	$f_2$ [MPa]	$f_3$ [MPa]	$f_{tr}$ [MPa]
20	10	117	26	55	126
100	9,3	109	24	52	110

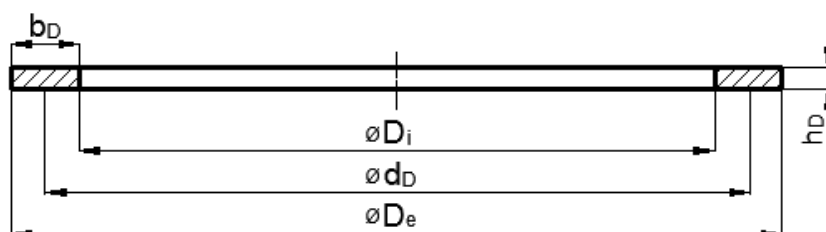
Napětí na třmení v kritickém řezu 1-1 je  $f_1 = 117$  MPa, v řezu 2-2 je  $f_2 = 26$  MPa a v řezu 3-3 je  $f_3 = 55$  MPa. Všechna vypočtená napětí v jednotlivých řezech jsou menší než dovolené napětí ve třmení  $f_{tr} = 126$  MPa. Třmen z hlediska statické pevnosti vyhovuje.

#### 4.4 Návrh přírubového spoje č. 1

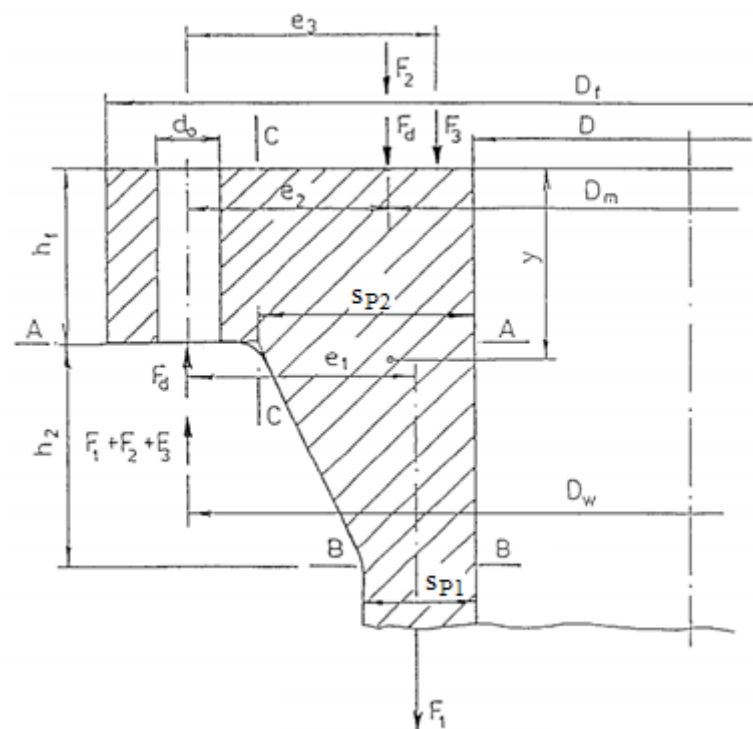
Výpočet sil působících na přírubový spoj byl proveden dle [8]. Návrh rozměrů příruby byl proveden dle [5].



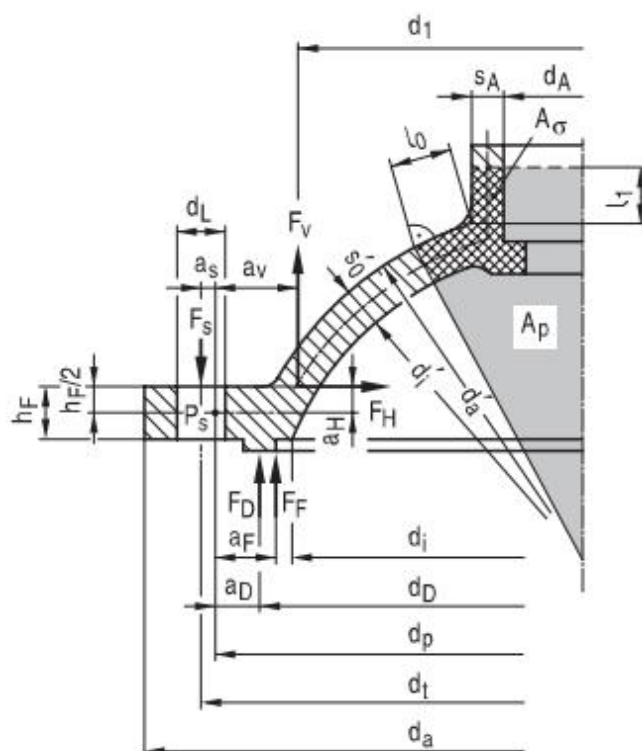
Obr. 4.8 Přírubový spoj č. 1



Obr. 4.9 Rozměry těsnění



Obr. 4.10 Síly a rozměry na přírubě [8]



Obr. 4.11 Rozměry víka [5]

#### 4.4.1 Návrh svorníkového šroubu

##### PROVOZNÍ STAV

Síla ve svorníkových šroubech pro provozní stav:

$$F_{SB} = F_V + F_{DB} + F_F + F_{ax} + \frac{4 \cdot M_b}{d_t} + F_Z \quad (4.30)$$

$$M_b = 0, F_Z = 0, F_{ax} = F_{o \max}$$

Vertikální síla víka:

$$F_V = p \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \quad (4.31)$$

Horizontální síla víka:

$$F_H = p \cdot \frac{\pi}{2} \cdot d_i \cdot \sqrt{r^2 - \frac{d_i^2}{4}} \quad (4.32)$$

$$r = \frac{d_i'}{2} \quad (4.33)$$

Minimální těsnící síla:

$$F_{DBU} = \pi \cdot d_D \cdot b_D \cdot m \cdot p \cdot S_D \quad (4.34)$$

Maximální těsnící síla:

$$F_{DBO} = \pi \cdot d_D \cdot b_D \cdot \sigma_{BO} \quad (4.35)$$

Síla od tlaku média působící na mezikruží:

$$F_F = \frac{\pi}{4} \cdot (d_D^2 - d_i^2) \cdot p \quad (4.36)$$

##### MONTÁŽNÍ STAV

Minimální těsnící síla:

$$F_{DVU} = \pi \cdot d_D \cdot b_D \cdot \sigma_{VU} \quad (4.37)$$

Maximální těsnící síla:

$$F_{DVO} = \pi \cdot d_D \cdot b_D \cdot \sigma_{VO} \quad (4.38)$$

Síla ve svorníkových šroubech pro montážní stav:

$$F_{SO} = \max (\chi \cdot F_{SB} \cdot F_{DV}) \quad (4.39)$$

$$F_{SB} = F_V + F_{DB} + F_F + F_{ax} + \frac{4 \cdot M_b}{d_t} + F_Z \quad (4.40)$$

$$F_{DV} = F_{DVU} \quad (4.41)$$

Průměr dráku šroubu:

$$d_s = \sqrt{\frac{4 \cdot F_S}{\pi \cdot n \cdot f_s}} + d_{iL}^2 + c \quad (4.42)$$

Maximální síla ve svorníkových šroubech ze všech zátěžových stavů:

$$F_S = \max (F_{SB}, F_{SO}) \quad (4.43)$$

Tab. 4.27 Vstupní parametry

$d_i$ [mm]	$d_l$ [mm]	$d_D$ [mm]	$b_D$ [mm]	$d_t$ [mm]	$r$ [mm]	$m$ [-]	$S_D$ [-]	$\sigma_{VU}$ [MPa]	$\sigma_{VO}$ [MPa]
348	412	380	30	485	180	1,3	1,2	28	519

Tab. 4.28 Výpočet sil působících na víko

TS [°C]	PS [MPa]	$F_H$ [N]	$F_{DBU}$ [N]	$\sigma_{BO}$ [MPa]	$F_{DBO}$ [N]	$F_{DVO}$ [N]
20	10	298260	558701	519	18587547	18587547
100	9	278276	521268	462	16546140	

Tab. 4.29 Výpočet sil působících na svorníkové šrouby

TS [°C]	PS [MPa]	$F_V$ [N]	$F_{DB}$ [N]	$F_F$ [N]	$F_{ax}$ [N]	$M_B$ [Nmm]	$F_Z$ [N]
20	10	951149	558701	182966	108054	0	0
100	9,3	887422	521268	170708	101407	0	0



Pokračování tab. 4.29

TS [°C]	F <sub>SB</sub> [N]	F <sub>DVU</sub> [N]	F <sub>SO</sub> [N]
20	1800870	1002796	1980957
100	1680805		1848886

Tab. 4.30 Návrh svorníkového šroubu

TS [°C]	PS [MPa]	F <sub>S</sub> [N]	f <sub>s</sub> [MPa]	d <sub>S</sub> [mm]	d <sub>SN</sub> [mm]
20	10	1980957	220	26,768	27,5
100	9,3	1848886	214	26,221	

Tab. 4.31 Navržený závit svorníkového šroubu

Závit	n [-]	P [mm]	d [mm]	D <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>3</sub> [mm]	α <sub>z</sub> [°]
M36x4	16	4	36	31,670	33,402	31,093	60

Vypočtený průměr dráku svorníkového šroubu je  $d_S = 26,768$  mm, navržený průměr dráku svorníkového šroubu je  $d_{SN} = 27,500$  mm. Tomu odpovídá závit M36x4.

#### 4.4.2 Návrh základních rozměrů příruby tělesa

Síla působící od vnitřního tlaku pro provozní podmínky:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \quad (4.44)$$

Síla působící od vnitřního tlaku pro zkušební podmínky:

$$F_{1h} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_h \quad (4.45)$$

Nezbytná síla k usazení těsnění:

$$F_D = \pi \cdot D_m \cdot b \cdot q_o \quad (4.46)$$

$$q_o = \sigma_{vu} \quad (4.47)$$

Minimální těsnicí síla pro provozní podmínky:

$$F_2 = \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p \cdot x \quad (4.48)$$

Minimální těsnicí síla pro zkušební podmínky:

$$F_{2h} = \pi \cdot D_m \cdot b \cdot m \cdot p_h \quad (4.49)$$

Síla od tlaku média působící na mezikruží pro provozní podmínky:

$$F_3 = \pi \cdot \frac{(D_m^2 - D^2)}{4} \cdot p \quad (4.50)$$

Síla od tlaku média působící na mezikruží pro zkušební podmínky:

$$F_{3h} = \pi \cdot \frac{(D_m^2 - D^2)}{4} \cdot p_h \quad (4.51)$$

Ramena sil:

$$e_1 = 0,5 \cdot (D_w - D - s_{p1}) \quad (4.52)$$

$$e_2 = 0,5 \cdot (D_w - D_m) \quad (4.53)$$

$$e_3 = 0,5 \cdot [D_w - 0,5 \cdot (D_w - D)] \quad (4.54)$$

Moment nezbytný k usazení těsnění od síly  $F_D$ :

$$M_d = F_D \cdot e_2 \quad (4.55)$$

Moment od sil působících v provozním stavu:

$$M_p = F_1 \cdot e_1 + F_2 \cdot e_2 + F_3 \cdot e_3 \quad (4.56)$$

Moment od sil působících ve zkušebním stavu:

$$M_h = F_{1h} \cdot e_1 + F_{2h} \cdot e_2 + F_{3h} \cdot e_3 \quad (4.57)$$

Maximální moment působící na přírubu tělesa:

$$M = \max \{M_d, M_p, M_h\} \quad (4.58)$$

Výpočet tloušťky stěny sférického dna:

$$\text{pro podmínku } \frac{d_i'}{d_a'} \leq 1,2 \quad (4.59)$$

$$s_0 = \frac{r_i' \cdot p}{2 \cdot f_F - p} \quad (4.60)$$

Tloušťka stěny bez přídavků:

$$s_e = s_N - c \quad (4.61)$$

Celkový přídavek:

$$c = c_1 + c_2 \quad (4.62)$$

Kontroly napětí přírubového kroužku:

$$f_{K1} = \frac{F_H}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot h_F} \leq f_F \quad (4.63)$$

$$f_{K2} = \frac{M_{aB}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{b}{4} \cdot h_F^2 + \frac{d_1}{8} \cdot (s_e^2 - s_0^2) \right]} + \frac{F_H}{3 \cdot \pi \cdot b \cdot h_F} \leq f_F \quad (4.64)$$

$$f_{K3} = \frac{M_{a0}}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \frac{b}{4} \cdot h_F^2 + \frac{d_1}{8} \cdot (s_e^2 - s_0^2) \right]} + \frac{F_H}{3 \cdot \pi \cdot b \cdot h_F} \leq f_F \quad (4.65)$$

Nosná šířka příruby:

$$b = 0,5 \cdot (d_a - d_i - 2 \cdot d_L') \quad (4.66)$$

Přepočtový průměr díry pro šrouby:

$$d_L' = v \cdot d_L \quad (4.67)$$

$$d_i \geq 500 \text{ mm} \rightarrow v = 0,5 \quad (4.68)$$

$$d_i < 500 \text{ mm} \rightarrow v = 1 - 0,001 \cdot d_i \quad (4.69)$$

Moment zatížený silami pro provozní stav:

$$M_{aB} = F_{SB} \cdot a_S + \left( F_V + F_{ax} + \frac{4 \cdot M_B}{d_1} \right) \cdot a_V + F_F \cdot a_F + F_D \cdot a_D + F_H \cdot a_H \quad (4.70)$$

$$M_B = 0$$

Moment zatížený silami pro montážní stav:

$$M_{a0} = F_{s0} \cdot (a_s + a_D) \quad (4.71)$$

Vyztužení v oblasti ucpávky:

$$p \cdot \left[ \frac{A_p}{A_f} + \frac{1}{2} \right] \leq f_F \quad (4.72)$$

Tlakem zatěžovaná plocha  $A_p$  a účinná plocha průřezu  $A_f$  byly určeny v programu AutoCAD.

Vzdálenosti:

$$l_0 = \sqrt{(2 \cdot r + s_0') \cdot s_0'} \quad (4.73)$$

$$l_1 = \sqrt{(d_a + s_A) \cdot s_A} \quad (4.74)$$

Výška listu příruby tělesa:

$$h_f = s_{p2} \cdot (0,001 \cdot p \cdot D)^{0,14} \quad (4.75)$$

Výpočtová tloušťka stěny:

$$s_0 = \frac{p \cdot D}{2 \cdot f_F} \quad (4.76)$$

Průřezový modul v ohybu v řezu A-A:

$$W_A = \pi \cdot \left[ \frac{(D_f - D - 2 \cdot d_0) \cdot h_{fn}^2 + (D + s_{p2}) \cdot \left( s_{p2}^2 - \frac{s_0^2}{4} \right)}{4} \right] \quad (4.77)$$

Průřezový modul v ohybu v řezu B-B:

pro  $y \leq h_{fn}$ :

$$W_B = \pi \cdot \left[ (D_f - D - 2 \cdot d_0) \cdot y^2 + 0,25 \cdot (D + s_{p1}) \cdot (s_{p1}^2 - 0,25 \cdot s_0^2) \right] \quad (4.78)$$

pro  $y > h_{fn}$ :

$$W_B = 2\pi \left[ (s_{P2} - s_0) \cdot \frac{(h_{fn} + h_2 - y)^3}{3 \cdot h_2} + s_{P1} \cdot (h_{fn} + h_2 - y)^2 + 0,125 \cdot (D + s_{P1}) \cdot (s_{P1}^2 - 0,25 \cdot s_0^2) \right] \quad (4.79)$$

Průřezový modul v ohybu v řezu C-C:

pro  $h_{fn} \leq s_{P2}$ :

$$W_C = 0,25 \cdot \pi \cdot (D_f - 2 \cdot d_0) \cdot h_{fn}^2 \quad (4.80)$$

Pokud je  $h_{fn} > s_{P2}$ , pevnost příruby v řezu C-C je zabezpečena a  $W_C$  se neurčuje.

Souřadnice těžiště příčného řezu příruby:

$$y = \frac{(s_{P1} + s_{P2}) \cdot h_{fn} \cdot h_2 + 0,33 \cdot h_2^2 \cdot (s_{P2} + 2 \cdot s_{P1}) + 0,5 \cdot h_{fn}^2 \cdot (D_f - D - 2 \cdot d_0)}{(s_{P1} + s_{P2}) \cdot h_2 + (D_f - D - 2 \cdot d_0) \cdot h_{fn}} \quad (4.81)$$

Napětí na přírubě:

$$f_{\max} = \max \left[ \frac{M}{W_A}, \frac{M}{W_B}, \frac{M}{W_C} \right] \leq f_F \quad (4.82)$$

Tab. 4.32 Vstupní parametry pro výpočet momentů

D [mm]	D <sub>m</sub> [mm]	D <sub>w</sub> [mm]	b [mm]	s <sub>P1</sub> [mm]	q <sub>0</sub> [MPa]	m [-]	p <sub>h</sub> [MPa]
348	380	485	30	28	20	1,3	15

Tab. 4.33 Výpočet ramen sil F<sub>i</sub>

e <sub>1</sub> [mm]	e <sub>2</sub> [mm]	e <sub>3</sub> [mm]
54,5	52,5	6,5

Tab. 4.34 Výpočet součinitele x pro provozní podmínky

T [°C]	20	100
x [-]	1	1,22

Tab. 4.35 Výpočet momentu od sil působících v provozním stavu

TS [°C]	PS [MPa]	F <sub>1</sub> [N]	F <sub>2</sub> [N]	F <sub>3</sub> [N]	M <sub>p</sub> [Nmm]
20	10	951149	465584	182966	87350224
100	9,3	887422	529956	170708	86515023

Tab. 4.36 Výpočet momentu od sil působících ve zkušebním stavu

F <sub>D</sub> [N]	M <sub>d</sub> [Nmm]	F <sub>1h</sub> [N]	F <sub>2h</sub> [N]	F <sub>3h</sub> [N]	M <sub>h</sub> [Nmm]
1002796	52646790	1426723	698376	274450	131025369

Tab. 4.37 Výpočet maximálního momentu působícího na přírubu

TS [°C]	PS [MPa]	M <sub>d</sub> [Nmm]	M <sub>p</sub> [Nmm]	M <sub>h</sub> [Nmm]	M [Nmm]
20	10	52646790	87350224	131025369	131025369
100	9,3		86515023		86515023

Tab. 4.38 Vstupní parametry pro výpočet sil a momentů působících na šrouby

a <sub>s</sub> [mm]	a <sub>v</sub> [mm]	a <sub>D</sub> [mm]	a <sub>H</sub> [mm]	a <sub>F</sub> [mm]	a <sub>1</sub> [mm]	a <sub>2</sub> [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	-
26,9	9,6	25,6	30	41,6	15,5	49	412	-
d <sub>t</sub> [mm]	d <sub>L</sub> [mm]	d <sub>p</sub> [mm]	d <sub>D</sub> [mm]	d <sub>i</sub> [mm]	d' <sub>L</sub> [mm]	r' <sub>a</sub> [mm]	d <sub>a</sub> [mm]	-
485	39	431,2	380	348	25,4	205	555	-
c [mm]	c <sub>1</sub> [mm]	c <sub>2</sub> [mm]	s <sub>N</sub> [mm]	s <sub>e</sub> [mm]	b [mm]	s <sub>A</sub> [mm]	v [mm]	h <sub>fn</sub> [mm]
2,1	2	0,1	25	38,8	78,1	61,9	0,652	60

Tab. 4.39 Výpočet sil a momentů působících na šrouby

TS [°C]	PS [MPa]	F <sub>H</sub> [N]	F <sub>V</sub> [N]	F <sub>D</sub> [N]	F <sub>F</sub> [N]	F <sub>ax</sub> [N]
20	10	298260	951149	558701	182966	108054
100	9,3	278276	887422	521268	170708	101407

Pokračování tab. 4.39

TS [°C]	PS [MPa]	M <sub>B</sub> [Nmm]	F <sub>SB</sub> [N]	F <sub>S0</sub> [N]	M <sub>aB</sub> [Nmm]	M <sub>a0</sub> [Nmm]
20	10	0	1800870	1980957	62468937	10400243
100	9,3		1680805	1848886	58300117	97066515

Tab. 4.40 Kontrola napětí na přírubovém kroužku

TS [°C]	PS [MPa]	s <sub>0</sub> [mm]	f <sub>F</sub> [MPa]	f <sub>K1</sub> [MPa]	f <sub>K2</sub> [MPa]	f <sub>K3</sub> [MPa]
20	10	8	126	10	80	125
100	9,3	8,5	110	9	75	-

Tab. 4.41 Vstupní parametry pro výpočet vyztužení v oblasti ucpávky

s' <sub>0</sub> [mm]	s <sub>A</sub> [mm]	d <sub>A</sub> [mm]	r [mm]	l <sub>0</sub> [mm]	l <sub>1</sub> [mm]
25	53	64	180	98,1	78,7

Tab. 4.42 Vyztužení v oblasti ucpávky

TS [°C]	PS [MPa]	f <sub>F</sub> [MPa]	A <sub>p</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>σ</sub> [mm <sup>2</sup> ]	f <sub>A</sub> [MPa]
20	10	126	22585	8729	31
100	9,3	110			29

Tab. 4.43 Vstupní parametry pro výpočet příruby tělesa

s <sub>p1</sub> [mm]	s <sub>p2</sub> [mm]	D [mm]	D <sub>f</sub> [mm]	d <sub>0</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]
28	34	348	555	39	120

Tab. 4.44 Výpočet tloušťky listu příruby tělesa

TS [°C]	PS [MPa]	h <sub>f</sub> [mm]	h <sub>fin</sub> [mm]	y [mm]	s <sub>0</sub> [mm]	W <sub>A</sub> [mm <sup>3</sup> ]	W <sub>B</sub> [mm <sup>3</sup> ]
20	10	40,5	65	74,8	13,8	760582	2825517
100	9,3	40,1			14,8	758547	2801324

Pokračování tab. 4.44

TS [°C]	PS [MPa]	$W_C$ [mm <sup>3</sup> ]	M [Nmm]
20	10	1582833	131025369
100	9,3	1582833	86515023

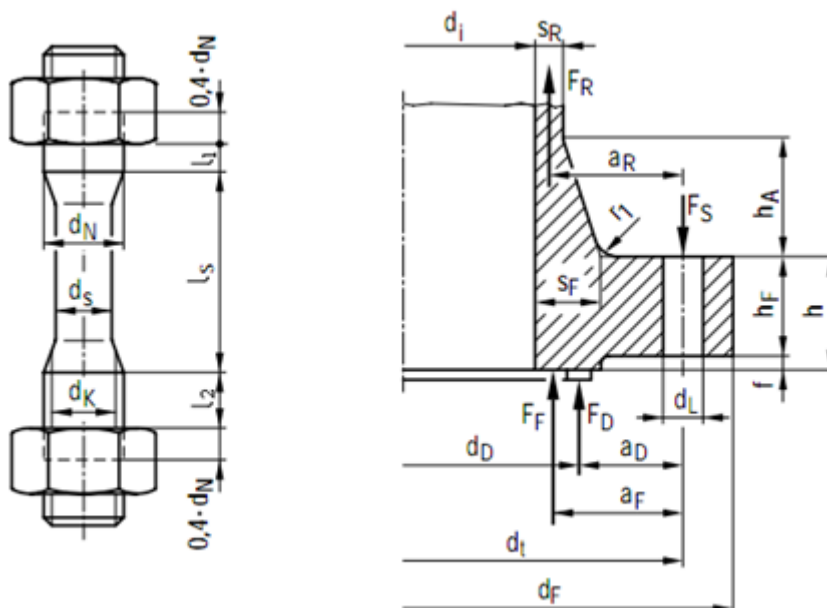
Tab. 4.45 Výpočet napětí na přírubě tělesa

TS [°C]	PS [MPa]	$f_A$ [MPa]	$f_B$ [MPa]	$f_C$ [MPa]	$f_F$ [MPa]
20	10	105	31	55	126
100	9,3	98	28	51	110

Vypočtená napětí v jednotlivých řezech příruby tělesa jsou nižší než dovolené napětí. Minimální tloušťka listu příruby tělesa je  $h_f = 40,5$  mm. Tloušťka listu příruby tělesa byla navržena  $h_{fn} = 65$  mm.

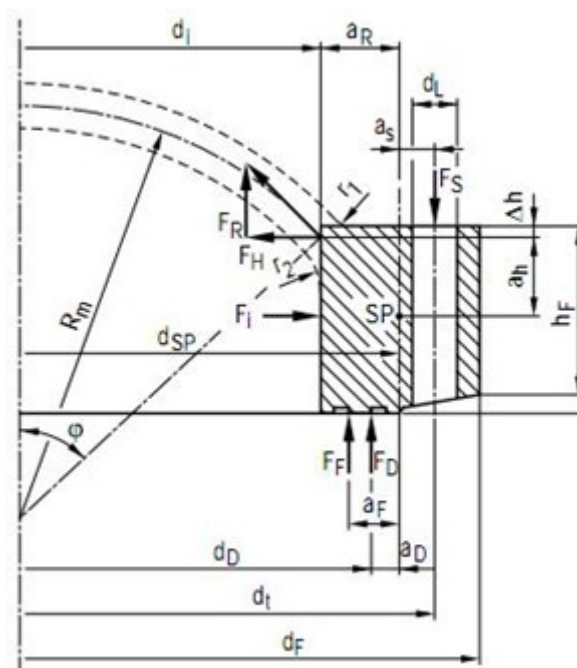
#### 4.4.3 Tuhost přírubového spoje

Výpočet tuhosti přírubového spoje byl proveden dle [8] a výpočet utahovacího momentu dle [9].



Obr. 4.12 Rozměry šroubu a příruby [8]





Obr. 4.13 Rozměry víka [8]

Tuhost pružného šroubu:

$$C_{s0} = \frac{n \cdot \pi \cdot E_s}{4} \cdot \frac{d_K^2 \cdot d_S^2}{d_K^2 \cdot l_S + d_S^2 \cdot (l_1 + l_2 + 0,8 \cdot d_N)} \quad (4.83)$$

Konstanta tuhosti šroubu:

$$C_{s1} = C_{s0} \cdot \frac{E_{100}}{E_{20}} \quad (4.84)$$

Tuhost kuželové příruby:

$$C_{F0} = \frac{4 \cdot E_F \cdot (h_F + h_B) \cdot W_F}{3 \cdot (d_F + d_i) \cdot a_D} \quad (4.85)$$

Konstanta tuhosti příruby:

$$C_{F1} = C_{F0} \cdot \frac{E_{100}}{E_{20}} \quad (4.86)$$

Modul průřezu příruby:

$$W_F = \frac{\pi}{4} \cdot \left[ (d_F - d_i - 2 \cdot d_L') \cdot h_F^2 + (d_i + s_F) \cdot (s_F^2 - s_1^2) \right] \quad (4.87)$$

Tloušťka stěny potřebná k zachycení podélné síly:

$$s_1 = \frac{F_R}{\pi \cdot (d_i + s_R) \cdot f_F} \quad (4.88)$$

Celková síla vyvolaná od potrubí v provozním stavu:

$$F_R = F_{RP} + F_{RZ} + F_{RM} \quad (4.89)$$

$$F_{RP} = \frac{d_i^2 \cdot \pi \cdot p}{4} \quad (4.90)$$

$$F_{RZ} = 0, \quad F_{RM} = 0$$

Výpočtový průměr díry šroubu:

$$d_L' = \frac{d_L}{2} \quad \dots \text{pro } d_i \geq 500 \text{ mm} \quad (4.91)$$

$$d_L' = d_L \cdot \left(1 - \frac{d_i}{1000}\right) \quad \text{pro } d_i < 500 \text{ mm} \quad (4.92)$$

Výpočtová výška příruby:

$$h_B = 0,58 \cdot \left(\frac{d_i}{s_F}\right)^{0,29} \cdot h_A \quad (4.93)$$

Tuhost víka:

$$C_{B0} = \frac{4 \cdot E_B \cdot (h_F + h_B) \cdot W_B}{3 \cdot (d_F + d_i) \cdot a_D} \quad (4.94)$$

$$h_B = 0$$

Konstanta tuhosti příruby:

$$C_{B1} = C_{B0} \cdot \frac{E_{100}}{E_{20}} \quad (4.95)$$

Modul průřezu víka:

$$W_B = \frac{\pi}{4} \cdot (d_F - d_i - 2 \cdot d_L') \cdot h_F^2 \quad (4.96)$$

Výpočtový průměr díry šroubu:

$$d_L' = \frac{n \cdot d_L^2}{4 \cdot d_i} \quad (4.97)$$

Tuhost těsnění:

$$C_{D0} = \frac{E_D \cdot \pi \cdot d_D \cdot b_D}{h_D} \quad (4.98)$$

Konstanta tuhosti těsnění:

$$C_{D1} = C_{D0} \cdot \frac{E_{100}}{E_{20}} \quad (4.99)$$

Modul pružnosti kammprofilu:

$$E_D = E_0 + K_1 \cdot Q_{(\max)} \quad (4.100)$$

$$Q_{(\max)} = \frac{F_{S0}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_e^2 - D_i^2)} \quad (4.101)$$

Výpočet modulu pružnosti kammprofilu je dle [4].

Celková utahovací síla ve svorníkových šroubech pro provozní stav:

$$F_S = F_{DB} + F_R + F_F \quad (4.102)$$

Těsnící síla pro provozní stav:

$$F_{DB} = \frac{1}{\frac{1}{C_{S1}} + \frac{a_D}{C_{F1}} + \frac{a_D}{C_{B1}} + \frac{1}{C_{D1}}} \cdot \left[ \begin{aligned} &F_{S0} \cdot \left( \frac{1}{C_{S0}} + \frac{a_D}{C_{F0}} + \frac{a_D}{C_{B0}} + \frac{1}{C_{D0}} \right) - F_R \cdot \left( \frac{1}{C_{S1}} + \frac{a_{R1}}{a_D} \cdot \frac{a_D}{C_{F1}} \right) \\ &- F_R \cdot \left( \frac{a_{R2}}{a_D} \cdot \frac{a_D}{C_{B1}} \right) - F_F \cdot \left( \frac{1}{C_{S1}} + \frac{a_{F1}}{a_D} \cdot \frac{a_D}{C_{B1}} \right) \\ &- F_F \cdot \left( \frac{a_{F2}}{a_D} \cdot \frac{a_D}{C_{B1}} \right) - \Delta W_1 - \Delta V_1 \end{aligned} \right] \quad (4.103)$$

Rozdíl teplotních změn délek příruby, víka, šroubů a těsnění:

$$\Delta W_1 = l_k \cdot \alpha_S \cdot (g_{S1} - 20^\circ) - h_{F1} \cdot \alpha_F \cdot (g_{F1} - 20^\circ) - h_{F2} \cdot \alpha_B \cdot (g_{B1} - 20^\circ) - h_D \cdot \alpha_D \cdot (g_{D1} - 20^\circ) \quad (4.104)$$

Maximální síla ve svorníkových šroubech ze všech zátěžových stavů:

$$F_{S0} = \max (\chi \cdot F_{SB}, F_{DV}) \quad (4.105)$$

Síla vyvolaná od tlaku média působící na mezikruží příruby:

$$F_F = \frac{\pi}{4} \cdot (d_D^2 - d_i^2) \cdot p \quad (4.106)$$

Celková síla od potrubí:

$$F_R = F_{RP} + F_{RZ} + F_{RM} \quad (4.107)$$

$$F_{RP} = \frac{d_i^2 \cdot \pi \cdot p}{4} \quad (4.108)$$

$$F_{RZ} = 0, \quad F_{RM} = 0$$

Střední průměr těsnění:

$$d_D = \frac{D_e + D_i}{2} \quad (4.109)$$

Vzdálenost od osy šroubu ke střednímu průměru těsnění:

$$a_D = \frac{d_t - d_D}{2} \quad (4.110)$$

Vzdálenost od osy šroubu k působišti síly  $F_R$  kuželové příruby:

$$a_{R1} = \frac{d_t - d_i - s_R}{2} \quad (4.111)$$

Vzdálenost od osy šroubu k působišti síly  $F_R$  víka:

$$a_{R2} = \frac{d_{SP} - d_i}{2} \quad (4.112)$$

Vzdálenost od osy šroubu k působišti síly  $F_F$  kuželové příruby:

$$a_{F1} = \frac{2 \cdot d_t - d_D - d_i}{4} \quad (4.113)$$

Vzdálenost od osy šroubu k působišti síly  $F_R$  víka:

$$a_{F2} = \frac{2 \cdot d_{SP} - (d_i + d_D)}{4} \quad (4.114)$$

Tab. 4.46 Výpočet modulu pružnosti kammprofilu

TS [°C]	D <sub>e</sub> [mm]	D <sub>i</sub> [mm]	F <sub>S0</sub> [N]	Q <sub>(max)</sub> [MPa]	E <sub>0</sub> [MPa]	K <sub>1</sub> [MPa]	E <sub>D</sub> [MPa]
20	410	350	1980957	55	1	33	1816
100			1848886	52			1717

Tab. 4.47 Moduly pružnosti v tahu použitých materiálů

Stav	E <sub>S</sub> [MPa]	E <sub>F</sub> [MPa]	E <sub>B</sub> [MPa]	E <sub>D</sub> [MPa]
0	208000	211000	211000	1816
1	207000	206000	206000	1717

Tab. 4.48 Parametry svorníkového šroubu

Závit	n [-]	P [mm]	d [mm]	D <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>3</sub> [mm]	α <sub>z</sub> [°]
M36x4	16	4	36	31,670	33,402	31,093	60

Tab. 4.49 Vstupní hodnoty svorníkového šroubu

l <sub>1</sub> [mm]	l <sub>2</sub> [mm]	l <sub>s</sub> [mm]	l <sub>k</sub> [mm]	d <sub>N</sub> [mm]	d <sub>s</sub> [mm]	d <sub>k</sub> [mm]
5	3	120	128	36	27,5	31,093

Tab. 4.50 Rozměry těsnění

D <sub>e</sub> [mm]	D <sub>i</sub> [mm]	d <sub>D</sub> [mm]	b <sub>D</sub> [mm]
410	350	380	30

Tab. 4.51 Vstupní hodnoty příruby

$d_F$ [mm]	$d_i$ [mm]	$d_L'$ [mm]	$d_L$ [mm]	$d_t$ [mm]	$s_R$ [mm]	$s_F$ [mm]
555	348	25,4	39	485	28	34
$h_F$ [mm]	$h_B$ [mm]	$a_D$ [mm]	$a_{R1}$ [mm]	$a_{F1}$ [mm]	$h_A$ [mm]	-
60	136,6	52,5	54,5	60,5	120	-

Tab. 4.52 Výpočet celkové síly od potrubí

TS [°C]	PS [MPa]	$F_{RZ}$ [N]	$F_{RM}$ [N]	$F_{RP}$ [N]	$F_R$ [N]	$F_F$ [N]
20	10	0	0	951149	951149	182966
100	9,3			887422	887422	170708

Tab. 4.53 Výpočet modulu průřezu příruby tělesa

TS [°C]	$s_1$ [mm]	$W_F$ [mm <sup>3</sup> ]
20	6,4	776012
100	6,8	774428

Tab. 4.54 Vstupní hodnoty víka

n [-]	$d_t$ [mm]	$d_L$ [mm]	$d_D$ [mm]	$d_{SP}$ [mm]	$a_D$ [mm]	$a_R$ [mm]	$a_F$ [mm]
16	485	39	380	372,5	52,5	12,3	4,3

Tab. 4.55 Výpočet modulu průřezu víka

$h_F$ [mm]	$d_F$ [mm]	$d_i$ [mm]	$d_L'$ [mm]	$W_B$ [mm <sup>3</sup> ]
60	555	384	12,5	514593

Tab. 4.56 Vstupní parametry těsnění

$d_D$ [mm]	$b_D$ [mm]	$h_D$ [mm]
380	30	4

Tab. 4.57 Tuhosti jednotlivých dílů

Stav	$C_S$ [Nmm <sup>-1</sup> ]	$C_F$ [Nmm <sup>-1</sup> ]	$C_B$ [Nmm <sup>-1</sup> ]	$C_D$ [Nmm <sup>-1</sup> ]
0	13285418	905369977	183226912	16259627
1	13221546	883915712	178885042	15373237

Tab. 4.58 Vstupní parametry pro výpočet těsníci provozní síly

$a_D$ [mm]	$a_{R1}$ [mm]	$a_{R2}$ [mm]	$a_{F1}$ [mm]	$a_{F2}$ [mm]	$l_k$ [mm]	$h_{F1}$ [mm]	$h_{F2}$ [mm]	$h_D$ [mm]
52,5	54,5	12,3	60,5	4,3	128	60	60	4

Tab. 4.59 Výpočet rozdílu teplotních změn délek šroubu, příruby tělesa, víka a těsnění

TS [°C]	$\alpha_s$ [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\alpha_F$ [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\alpha_B$ [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\alpha_D$ [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	$\Delta W_1$ [mm]	$\Delta V_1$ [mm]
20	12,3	14	14	0	0	0
100	12,3	14	14	0	0,0084	

Tab. 4.60 Výpočet těsníci síly a celkové utahovací síly ve svorníkových šroubech

TS [°C]	PS [MPa]	$F_{S0}$ [N]	$F_B$ [N]	$F_F$ [N]	$F_R$ [N]	$F_S$ [N]	$F_{DB}$ [N]
20	10	1980957	1134115	182966	951149	2535686	1401571
100	9,3	1848886	1058130	170708	887422	2341281	1283151

#### 4.4.4 Uťahovací moment svorníkových šroubů

Uťahovací moment byl stanoven dle [9].

Celková síla působící na jeden šroub:

$$F_M = \frac{F_{S1}}{n} \quad (4.115)$$

Tab. 4.61 Parametry svorníkového šroubu

závit	n [-]	P [mm]	d [mm]	D <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>3</sub> [mm]	α <sub>z</sub> [°]
M36x4	16	4	36	31,670	33,402	31,093	60

Tab. 4.62 Výpočet utahovacího momentu

TS [°C]	PS [MPa]	F <sub>S1</sub> [N]	F <sub>M</sub> [N]	f <sub>z</sub> [-]	f <sub>m</sub> [-]	M <sub>u</sub> [Nm]	M <sub>un</sub> [Nm]
20	10	2535686	158480	0,08	0,08	645	650
100	9,3	2341281	146330			596	

Maximální vypočítaný utahovací moment  $M_u = 645$  Nm, navržený utahovací moment  $M_{un} = 650$  Nm.

#### 4.4.5 Těsnost přírubového spoje

Těsnost přírubového spoje zajišťuje těsnění Kammprofil firmy GÜSCHU s r.o. [10]. Výpočet byl proveden dle [5].

Měrný tlak na plochém těsnění:

$$q = \frac{F_{\max}}{\pi \cdot D_m \cdot b_D} \quad (4.116)$$

$$D_m = d_D \quad (4.117)$$

Celková maximální síla ve svorníkových šroubech:

$$F_{\max} = \max \{F_0, F_2, F_{2h}\} \quad (4.118)$$

Nezbytná síla k usazení těsnění:

$$F_D = \pi \cdot D_m \cdot b_D \cdot q_0 \quad (4.119)$$

$$q_0 = \sigma_{VU} \quad (4.120)$$

Minimální těsnicí síla pro provozní podmínky:

$$F_2 = \pi \cdot D_m \cdot b_D \cdot m \cdot p \cdot x \quad (4.121)$$



Minimální těsnicí síla pro provozní podmínky:

$$F_{2h} = \pi \cdot D_m \cdot b_D \cdot m \cdot p_h \quad (4.122)$$

Celková utahovací síla ve svorníkových šroubech:

$$F_0 \geq \max \{F_D, F_2 + F_p, F_{2h} + F_{ph}\} \quad (4.123)$$

Celková osová síla ve všech svorníkových šroubech od tlaku média při provozním stavu:

$$F_p = \pi \cdot \frac{D_m^2 \cdot p}{4} \quad (4.124)$$

Celková osová síla ve všech svorníkových šroubech od tlaku média při zkušebním stavu:

$$F_{ph} = \pi \cdot \frac{D_m^2 \cdot p_h}{4} \quad (4.125)$$

Kontrolní podmínky:

$$q \geq K \cdot q_{\min} \quad (4.126)$$

$$q \leq q_{\max} \quad (4.127)$$

Dolní hranice měrného tlaku na těsnění:

$$q_{\min} = \sigma_{BU} = m \cdot p \quad (4.128)$$

Horní hranice měrného tlaku na těsnění:

$$q_{\max} = \sigma_{BO} \quad (4.129)$$

Tab. 4.63 Vstupní parametry pro výpočet utahovacího momentu

$p_h$ [MPa]	$D_m$ [mm]	$b_D$ [mm]	$m$ [-]	$K$ [-]	$q_0$ [MPa]
15	380	30	1,3	1	28

Tab. 4.64 Výpočet součinitele x pro provozní podmínky

$T$ [°C]	20	100
$x$ [-]	1	1,22

Tab. 4.65 Síly působící na těsnění

TS [°C]	PS [MPa]	F <sub>p</sub> [N]	F <sub>ph</sub> [N]	F <sub>D</sub> [N]	F <sub>2</sub> [N]	F <sub>2h</sub> [N]	F <sub>0</sub> [N]
20	10	1134115	1701172	1002796	465584	698376	2399548
100	9,3	1058129			529956		2399548

Tab. 4.66 Kontrola měrného tlaku na těsnění

TS [°C]	PS [MPa]	F <sub>max</sub> [N]	q [MPa]	q <sub>min</sub> [MPa]	σ <sub>BO</sub> [MPa]	q <sub>max</sub> [MPa]
20	10	2399548	67	13	519	519
100	9,3	2399548	67	12,1	462	462

Kontrola měrného tlaku těsnění Kammprofil vyhovuje podmínkám minimálního požadovaného měrného tlaku na těsnění a maximálního požadovaného měrného tlaku na těsnění.

#### 4.4.6 Výpočet délky závitu svorníkového šroubu

Výpočet minimální činné délky závitu šroubu a matice:

$$l_1 \geq 0,8 \cdot d \quad (4.130)$$

$$l_2 \geq \frac{2 \cdot F_{\max}}{n \cdot \pi \cdot d_2 \cdot f_t} \quad (4.131)$$

Celková maximální síla ve svorníkových šroubech:

$$F_{\max} = F_S \quad (4.132)$$

Výpočet síly F<sub>S</sub> byl proveden v kapitole 4.4.3.

Výpočet efektivní délky závitu:

$$l_s \geq \frac{A_s \cdot P}{0,55 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot \left[ \frac{P}{2} + (d - d_2) \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \right]} \quad (4.133)$$

$$l_M \geq \frac{R_{mS}^T \cdot A_s \cdot P}{R_{mM}^T \cdot 0,55 \cdot C_1 \cdot C_3 \cdot \pi \cdot d \cdot \left[ \frac{P}{2} + (d - d_2) \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \right]} \quad (4.134)$$

Střižná plocha dřívku šroubu:

$$A_s = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \quad (4.135)$$

Střižná plocha závitu šroubu:

$$A_{SGS} = \frac{l}{P} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot \left[ \frac{P}{2} + (d_2 - D_1) \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \right] \quad (4.136)$$

Střižná plocha závitu matice:

$$A_{SGM} = \frac{l}{P} \cdot \pi \cdot d \cdot \left[ \frac{P}{2} + (d - d_2) \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \right] \quad (4.137)$$

Výpočtové koeficienty:

$$C_1 = \left[ -\left( \frac{s}{d} \right)^2 + 3,8 \cdot \left( \frac{s}{d} \right) - 2,61 \right] \quad \dots \text{pro } 1,4 \leq \frac{s}{d} \leq 1,9 \quad (4.138)$$

$$C_2 = 0,897 \quad \dots \text{pro } R_s \leq 1 \quad (4.139)$$

$$C_2 = 5,594 - 13,682 \cdot R_s + 14,107 \cdot R_s^2 - 6,057 \cdot R_s^3 + 0,9353 \cdot R_s^4 \quad \dots \text{pro } 1 < R_s \leq 2,2 \quad (4.140)$$

$$C_3 = 0,897 \quad \dots \text{pro } R_s \geq 1 \quad (4.141)$$

$$C_3 = 0,728 + 1,769 \cdot R_s - 2,896 \cdot R_s^2 + 1,296 \cdot R_s^3 \quad \dots \text{pro } 1 < R_s \leq 2,2 \quad (4.142)$$

Pevnostní součinitel:

$$R_s = \frac{R_{mM}^T \cdot A_{sM}}{R_{mS}^T \cdot A_{sS}} \quad (4.143)$$

Tab. 4.67 Parametry závitu a vstupní parametry pro výpočet

n [-]	závit	P [mm]	d [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>3</sub> [mm]	α <sub>z</sub> [°]	s <sub>m</sub> [mm]
16	M36x4	4	36	31,670	33,402	31,093	60	55

Tab. 4.68 Výpočet konstant

$t_s$ [°C]	$R_{m\dot{s}}^T$ [MPa]	$R_{mM}^T$ [MPa]	$C_1$ [-]	$C_2$ [-]	$C_3$ [-]	$R_s$ [-]
20	600	500	0,861	0,923	0,897	1,105
100						

Tab. 4.69 Pomocné výpočtové hodnoty

$t_s$ [°C]	$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{SGM}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{SG\dot{s}}$ [mm <sup>2</sup> ]
20	759,3	3562,5	2686,3
100			

Tab. 4.70 Výpočet délky závitu šroubu

$t_s$ [°C]	$F_{max}$ [N]	$l_1$ [mm]	$l_{2\dot{s}}$ [mm]	$l_{2M}$ [mm]	$l_{\dot{s}}$ [mm]	$l_M$ [mm]	$l_n$ [mm]
20	2535686	28,8	21,4	31,5	23,3	21,7	36
100	2341281		20,4	33,2	23,3	21,7	

Minimální vypočtená činná délka závitu šroubu je  $l_{2\dot{s}} = 21,4$  mm a matice  $l_{2M} = 33,2$  mm. Navržená délka závitu šroubového spoje je  $l_n = 36$  mm.

## 5 Návrh opatření pro efektivnější výrobu šoupátek

Aby mohla firma Arako lépe konkurovat ostatním firmám na trhu, je zapotřebí snížit náklady na výrobu šoupátek a tím i jejich celkovou tržní cenu. Ke snížení nákladů mohou přispět níže uvedené návrhy:

Levnější a kvalitnější odlitky – v současnosti je dodavatelem odlitků česká slévárna, její odlitky jsou však drahé. Totéž platí pro případné změny na odlitcích. Odlitky mají navíc špatnou kvalitu, nejsou přesné, musí se opracovávat před navařováním sedlových partií. Po opracování odlitků vznikají póry a trhliny, které se musí následně brousit a vyvařovat. Vznikají tak nové náklady na opravy a prodlužuje se výroba. Řešením je navázání spolupráce s jinými slévárnami, jejichž odlitky budou levnější a kvalitnější. Jako příklad lze uvést slévárny z Číny a Indie, jejichž vzorkové odlitky měli potřebnou kvalitu a v případě většího množství odběru, třeba i na sklad, se pokryjí náklady na dovoz.

Přivařovací provedení odlitků těles – tělesa přivařovacích provedení se vyrábějí z přírubových odlitků. Opracováním vznikají na odlitku vady, které se musí brousit a vyvařovat. Někdy je rozměr přivařovacího konce menší, než je světlost tělesa. Materiál se musí na odlitek navařit. Těmito operacemi se prodražuje a prodlužuje výroba. Řešením je vytvoření nových modelů těles pro přivařovací provedení.

Svařovaná ruční kola větších rozměrů – odlévaná ruční kola větších rozměrů jsou těžší, dražší a mohutnější než ruční kola svařovaná. Řešením je nahrazení odlévaných ručních kol ručními koly svařovanými.

Modernější strojní vybavení – na starších strojích trvá výroba dílů déle. Operace, které by zvládl jeden moderní stroj, jsou rozloženy na více starších strojích. Řešením je obstarat modernější strojní vybavení, kde by se výroba dílů více automatizovala. Na konci roku 2011 firma Arako investovala do moderního strojního vybavení částku 150 milionu korun, kdy byly zakoupeny např. CNC vertikální soustruhy, CNC obráběcí centra, svařovací automaty, zkušebny s moderním diagnostickým zařízením.

Dělené třmenové víko – třmenová víka od světlosti DN 250 se problematicky vyrábějí. Řešením je zpracování konstrukčního návrhu na rozdělení třmenového víka na třmen a víko, což značně usnadní výrobu. Toto řešení má firma Arako v plánu do budoucna realizovat.

Vložená sedla v tělesech – v současnosti není v Araku možné navařit stelitové návary na tělesa světlosti DN 250 a vyšší. Musí se řešit kooperací, dochází tedy ke zdražování a prodlužování výroby. Řešením jsou vložená sedla v tělesech, která má firma Arako v plánu v nejbližší době realizovat.

Sloučení spojovacího materiálu – pro různé materiálové varianty šoupátek jsou i různé materiálové varianty spojovacího materiálu. Řešením je sloučení spojovacího materiálu pro dané materiálové varianty šoupátek. Např. pro šoupátko z materiálu 1.0619 bude šroub z materiálu 1.7218 a matice z materiálu 1.1181, pro šoupátko z materiálu 1.7357 bude šroub z materiálu 1.7709 a matice z materiálu 1.7218 atd. Spojovací materiál v těchto materiálových provedeních se potom může koupit ve větším množství na sklad s výhodou množstevních slev.

Nejlevnější dodavatel – oddělení nákupu zajišťuje své poptávky u již delší dobu zavedených dodavatelů, přitom noví dodavatelé mohou mít lepší ceny. Řešením je poptávat jednotlivé díly u více dodavatelů a vybírat ty s nejlepší cenovou nabídkou.

Plné kapacitní naplnění směny – není možné, aby ranní směna nebyla kapacitně naplněna a přitom se pracovalo ještě na odpoledních a nočních směnách. Totéž platí o víkendových směnách, kdy se pracuje na zakázkách, které mohly být zpracovány během týdne. Řešením je plně kapacitně naplnit ranní a odpolední směnu a povolit práci o víkendu jen ve zvláště naléhavém případě. Ušetří se tak náklady za provoz a odměny zaměstnancům.

## 6 Závěr

Výsledkem této diplomové práce je šoupátko s vloženými sedly a děleným třmenovým víkem. V úvodu byly stanoveny cíle, kterých mělo být dosaženo. Nyní, v závěru práce lze konstatovat, že stanovené cíle byly splněny. Byl vypracován konstrukční návrh šoupátka s vloženými sedly dle zadaných podmínek, byl vypracován konstrukční návrh na rozdělení třmenového víka šoupátka na víko a třmen a byly zpracovány základní návrhové a kontrolní výpočty šoupátka. V úvahu připadaly ještě další části šoupátka, kde mohly být provedeny návrhové a kontrolní výpočty, ale rozsah práce toto neumožnil. Proto byly výpočty zaměřeny hlavně na tlakovou obálku armatury.

Závěrem bych rád poděkoval doc. Ing. Jiřímu Friesovi, Ph.D. za vedení při zpracování diplomové práce a také firmě Arako spol. s r.o. za poskytnutí tématu pro diplomovou práci.



## 7 Seznam použité literatury

### Knihy a příručky:

- [1] ČSN EN 1092-1. *Příruby a přírubové spoje – Kruhové příruby pro trubky, armatury, tvarovky a příslušenství s označením PN – Část 1: Příruby z oceli*. 2003. Třídící znak 13 1170.
- [2] TP 422-21-42/04. *Technické podmínky pro dodávku armatur určených pro jaderné elektrárny. Uzavírací třmenová šoupátka DN 40 – 400, PN 16 – 100*. Arako Opava, 2008.
- [3] OTT-87. *Všeobecné technické požadavky na armatury pro zařízení a potrubí JE*. Moskva, 2005.
- [4] ČSN EN 13 445-5. *Netopené tlakové nádoby – Část 5: Kontrola a zkoušení*. 2010. Třídící znak 69 5245.
- [5] NTD A.S.I. Sekce III. *Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER*. Praha, Brno, 2001.
- [6] ČSN 69 0010 – 4.25. *Tlakové nádoby stabilní – Technická pravidla – Výpočet pevnosti – Část 4.25: Vysokotlaké nádoby*. 1992.
- [7] RIND, P. *Potrubní armatury v elektrárnách*. Praha, 1954.
- [8] KTA 3201.2. *Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren – Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung*. 1996.
- [9] VDI – 2230. *Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Zylindrische Einschraubenverbindung – Blatt 1*. 20003.
- [10] GÜSCHU. *Těsnící technika*. Katalog.

## 8 Seznam příloh

NÁZEV	OZNAČENÍ	FORMÁT
Šoupátko	S30.79--V15	A2
Těleso	1C 4123.474-s	A1
Víko	1C 5615.061-s	A1
Třmen	2C 6047.009-s	A2
Víko odlitek	1C LC5615.061	A1
Třmen odlitek	2C LC6047.009	A2

### **Použitý software:**

Microsoft Office Word 2007

Microsoft Office Powerpoint 2007

SolidWorks 2012